



Universidade de Aveiro Departamento de Química
2013

Cátia Álison Cruz **Estudo da secagem da maçã. Desenvolvimento de novos produtos**



Universidade de Aveiro Departamento de Química
2013

Cátia Álisson Cruz Estudo da secagem da maçã. Desenvolvimento de novos produtos

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Bioquímica Alimentar, realizada sob a orientação científica da Doutora Ivonne Delgadillo, Professora associada com agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e co- orientação científica do Doutor Jorge Saraiva, investigador auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Professor Doutor Manuel António Coimbra Rodrigues da Silva
Professor Associado com agregação do Departamento de Química
da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Ivonne Delgadillo

Professora associada com agregação do Departamento de Química
da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Jorge Saraiva

Investigador auxiliar do Departamento de Química da Universidade
de Aveiro

Professora Doutora Carla Alexandra Pina da Cruz Nunes

Professora auxiliar convidada da Seção Autónoma de Ciências da
Saúde da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

As palavras que se seguem são sem dúvida as que me parecem mais simples e verdadeiras de escrever. Em primeiro quero agradecer à minha orientadora pelos conselhos e apoio, indiscutivelmente esses conselhos foram cruciais para um bom desenrolar desta tese. Agradeço também ao meu coorientador pelos conhecimentos transmitidos. Agradeço aos meus colegas de laboratório pelo apoio. Também quero deixar um muito obrigado à minha família, principalmente aos meus pais por estar onde estou hoje e por ser quem sou. Por fim não podia deixar de agradecer ao meu namorado e aos meus amigos que sempre me apoiaram e me incentivaram a nunca desistir.

Palavras- chave

Secagem, maçã, cinética, pré-tratamentos, textura, cor, a_w

Resumo

A presente dissertação apresenta a aplicação de alguns pré-tratamentos no processo de secagem da maçã. Estes são aplicados com o objetivo de minimizar os aspetos negativos em parâmetros de qualidade, aumentar a eficiência do processo e modificar de forma criativa o produto final.

O objetivo foi estudar a cinética de secagem com os vários pré-tratamentos, nomeadamente HHP, micro-ondas e impregnação a vácuo. Concluiu-se que a HHP não acelera o processo de secagem. Como era de esperar a impregnação a vácuo com sumos (laranja e frutos vermelhos) alongou o processo de secagem. Porém o uso do micro-ondas e a combinação da impregnação a vácuo com o micro-ondas acelera o processo de secagem.

Avaliaram-se algumas modificações que ocorrem no processo de secagem, tais como o encolhimento e o escurecimento. Quando se realiza pre-tratamento por alta pressão verifica-se maior encolhimento e escurecimento, que tende a aumentar em função do aumento da HHP. Tanto o escurecimento como o encolhimento são minimizados quando se realiza impregnação.

Determinou-se nas várias amostras frescas e secadas o teor de fenóis, ácido ascórbico e açúcares e observou-se uma diminuição destes nas amostras secadas.

Estudaram-se parâmetros de qualidade como a cor, textura e a_w . A a_w das amostras secadas, nos vários ensaios esteve compreendida entre 0,4 – 0,6, exceto quando se recorreu à impregnação de gomos secos em que a a_w atingiu valores que não ultrapassaram 0,675.

Key- words

Drying, apple, kinetic, pre-treatments, texture, color, a_w

Abstract

This work deals with the application of some pre-treatments for drying apple. These are applied in order to minimize the negative aspects in quality parameters, increase process efficiency and creatively modify the final product.

The objective was to study the drying kinetics with various pre-treatments, including HHP, microwave and vacuum impregnation. It was concluded that the HHP does not accelerate the drying process. As expected the vacuum impregnation with juices (orange and red fruits) extended the drying process. However, microwave and the combination of vacuum impregnation with the microwave did accelerate the drying process.

Some modifications that occur during the drying process such as browning and shrinkage were evaluated. When HHP was used as pre-treatment higher browning and shrinkage were observed, which tends to increase with the increase of the HHP. Both, the browning and shrinkage were minimized when impregnation was performed.

The contents of phenols, ascorbic acid and sugars were determined in the fresh and various dried samples. A decrease of these compounds was observed in the dried samples.

Quality parameters such as color, texture and a_w were studied. The a_w of dried samples in the various trials was between 0.4 to 0.6, except except when dried apple slices were submitted to subsequent impregnation ($a_w < 0.675$).

Índice

I. Introdução	13
1. Matéria-prima	15
1. Maçã	15
2. Secagem com ar aquecido	17
1. Fundamentos de secagem	17
2. Transformações químicas durante a desidratação	18
3. Atividade da água no produto desidratado e as reações químicas, enzimáticas e microbiológicas	21
4. Pré-tratamentos usados na secagem	23
1. Antioxidantes	23
2. Alta pressão	24
3. Impregnação a vácuo	25
4. Micro-ondas	26
5. Combinação de secagem convectiva e micro-ondas	26
1. Fases do processo de secagem combinando secagem convectiva com micro-ondas	27
6. Parâmetros de qualidade em alimentos desidratados	28
1. Cor	28
2. Textura	30
II. Material e métodos	
1. Local	33
1. Preparação das amostras de maçã	33
2. Determinação de humidade	33
3. Secagem	34
1. Estufa	34
2. HHP + Estufa	34
3. Micro-ondas + Estufa	35
4. Impregnação + Estufa	35
5. Impregnação + Micro-ondas + Estufa	35
6. Estufa + Impregnação	36

7. Estufa + Imersão + HHP	36
4. Determinação de parâmetros físicos	37
1. Determinação da a_w	37
2. Análise de textura	37
3. Análise de cor	38
5. Determinação da atividade da PPO	38
6. Parâmetros químicos	39
1. Determinação de fenóis totais	39
2. Determinação de ácido ascórbico	39
3. Determinação de açúcares totais	40

III. Resultados e discussão

1. Atividade da água	41
2. Cinética de secagem	42
3. Efeito de HHP na velocidade de secagem vs Atividade da PPO	42
4. Efeito de micro-ondas na velocidade de secagem	52
5. Efeito da impregnação a vácuo e de antioxidantes no processo de secagem	53
6. Efeito da impregnação a vácuo com antioxidantes combinando com micro-ondas e estufa	58
7. Imersão / impregnação a vácuo de sumo de frutos vermelhos em gomos já secos	63
8. Conclusões em relação à atividade da água	66
9. Textura	68
10. Fenóis totais nas diferentes amostras	68
11. Ácido ascórbico nas diferentes amostras	71
12. Açúcares totais nas diferentes amostras	73

IV. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

V. Referências bibliográficas

Índice de tabelas

Tabela 1. Registo dos valores da atividade da polifenoloxidase para a maçã fresca, seca e pressurizada a 100, 250 e 400 MPa durante 5 minutos (\pm desvio padrão)	45
Tabela 2. Valores de atividade da água em amostras frescas submetidas a HHP a 100, 250 e 400 MPa com posterior secagem e em amostras secas com estufa (\pm desvio padrão)	46
Tabela 3. Valores de atividade da água em amostras frescas submetidas a HHP a 100 MPa com posterior secagem (5, 10 e 15 min) (\pm desvio padrão)	49
Tabela 4. Valores de atividade da água em amostras secas com imersão em sumo de frutos vermelhos, HHP a 100, 250 e 400 MPa (5min) e posterior secagem (\pm desvio padrão)	51
Tabela 5. Gomos secos impregnados com sumo de laranja com 2 condições diferentes (condição 1 – 50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm} ; condição 2 – imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min) (\pm desvio padrão)	54
Tabela 6. Gomos frescos impregnados com sumo de frutos vermelhos com 2 condições diferentes (condição 1 – 50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm} ; condição 2 – imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min) (\pm desvio padrão)	54
Tabela 7. Gomos secos impregnados com sumo de frutos vermelhos com 2 condições diferentes (condição 1 – 50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm} ; condição 2 – imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min) (\pm desvio padrão)	55
Tabela 8. Valores de atividade da água de amostras sem tratamento e impregnadas (\pm desvio padrão)	58
Tabela 9. Valores de atividade da água de cubos submetidos a diferentes tratamentos (\pm desvio padrão)	60
Tabela 10. Valores de atividade da água em gomos submetidos a diferentes tratamentos (\pm desvio padrão)	63
Tabela 11. Gomos com imersão e posterior alta pressão hidrostática (\pm desvio padrão)	65
Tabela 12. Gomos com impregnação a vácuo (\pm desvio padrão)	65
Tabela 13. Valores de atividade da água de gomos de maçã submetidos a diferentes pré – tratamentos (\pm desvio padrão)	67
Tabela 14. Medição das médias de força máxima (N) para gomos submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)	68
Tabela 15. Médias do teor de fenóis em amostras armazenadas por 3 meses em função de vários pré-tratamentos (\pm desvio padrão)	69
Tabela 16. Médias do teor de fenóis em amostras de maçã fresca e em amostras armazenadas por poucos dias em função de vários pré-tratamentos (\pm desvio padrão)	69
Tabela 17. Médias do teor de fenóis em cubos de maçã submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)	71
Tabela 18. Médias do teor de ácido ascórbico em gomos de maçã submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)	71
Tabela 19. Médias do teor de ácido ascórbico em cubos de maçã submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)	72
Tabela 20. Médias do teor de açúcares em gomos de maçã submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)	73

Índice de figuras

Figura 1. Ação da PPO(21)	19
Figura 2. Estrutura química do ácido clorogénico(21).....	19
Figura 3. Estrutura química da catequina(21)	19
Figura 4. Estabilidade dos alimentos em função da atividade da água (34)	22
Figura 5. Figura esquemática do equipamento do micro-ondas combinado com secagem convectiva (46).....	27
Figura 6. Forma das curvas de secagem para cilindros de maçã combinando ar quente e micro-ondas (46).....	28
Figura 7. Espaço de cor. Hunterlab (9)	30
Figura 8. Representação esquemática dos ensaios de secagem.....	34
Figura 9. Maçã embalada antes da alta pressão hidrostática (HHP)	35
Figura 10. Medidor de atividade da água.....	37
Figura 11. Variação do teor de água (%) e da atividade da água em função do tempo (min).....	41
Figura 12. Variação do teor de água (%) da maçã em função do tempo (min) de secagem	42
Figura 13. Maçã sem tratamento	43
Figura 14. Maçã tratada a 100MPa	43
Figura 15. Maçã tratada a 250 MPa	43
Figura 16. Maçã tratada a 400 MPa	43
Figura 17. Teor de água (%) ao longo do tempo em amostras sem tratamento (sem HHP) e amostras pré-tratadas com HHP a 100 MPa, 250 MPa e 400 MPa.....	44
Figura 18. Parâmetros L^* , a^* e b^* de amostras tratadas a 100, 250 e 400 MPa e de amostras sem tratamento (sem HHP).....	47
Figura 19. Maçã tratada a 100 MPa (5min).....	48
Figura 20. Maçã tratada a 100 MPa (10min).....	48
Figura 21. Maçã tratada a 100 MPa (15min).....	48
Figura 22. Maçã sem tratamento	48
Figura 23. Teor de água (%) ao longo do tempo em amostras de maçã sem tratamento (sem HHP) e amostras pré - tratadas com 100 MPa a tempos diferentes	48
Figura 24. Parâmetros L^* , a^* e b^* de amostras tratadas a 100 MPa (5, 10 e 15 min) e sem tratamento (sem HHP).....	50
Figura 25. Maçã tratada a 100 MPa	50
Figura 26. Maçã tratada a 250 MPa	50
Figura 27. Maçã tratada a 400 MPa	51
Figura 28. Teor de água (%) ao longo do tempo em amostras sem tratamento e com pré -tratamento micro-ondas; a – potência máxima 1 min e b – potência intermédia 2 min	52
Figura 29. Gomos tratados com micro-ondas com potência máxima 1 min	52
Figura 30. Gomos tratados com micro-ondas com potência intermédia 2 min	52
Figura 31. Gomos sem tratamento	53
Figura 32. Gomos frescos com impregnação de sumo de laranja (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm})	54
Figura 33. Gomos secos com impregnação de sumo de laranja (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm}) ...	54
Figura 34. Gomos secos com impregnação de sumo de laranja (imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min)	54

Figura 35. Gomos frescos com impregnação de frutos vermelhos (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm})	55
Figura 36. Gomos frescos com impregnação de frutos vermelhos (imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min)	55
Figura 37. Gomos secos com impregnação de frutos vermelhos (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm})	56
Figura 38. Gomos secos com impregnação de frutos vermelhos (imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min)	56
Figura 39. Teor de água (%) ao longo do tempo em gomos sem pré-tratamento e em gomos impregnados com sumo de laranja e sumo de frutos vermelhos (branco: gomos sem tratamento; 1: gomos frescos I – L – E; 3: gomos frescos I – FV – E; 4: gomos frescos I – FV – E + 20 g de sacarose)	57
Figura 40. Gomos sem tratamento	57
Figura 41. Gomos frescos com impregnação de sumo de laranja	57
Figura 42. Gomos frescos com impregnação de frutos vermelhos	58
Figura 43. Gomos frescos com impregnação de frutos vermelhos (mais sacarose)	58
Figura 44. Cubos com tratamento micro-ondas	59
Figura 45. Cubos com impregnação de frutos vermelhos	59
Figura 46. Cubos com impregnação de sumo de laranja	59
Figura 47. Cubos com impregnação de frutos vermelhos e micro-ondas	59
Figura 48. Cubos com impregnação de sumo de laranja e micro-ondas	59
Figura 49. Teor de água (%) de cubos de maçã em função do tempo (Branco: MO – E; Branco 1: I – FV – E; Branco 2: I – L – E; Amostra 3: I – FV – MO – E; Amostra 4: I – L – MO – E)	60
Figura 50. Teor de água (%) em gomos em função do tempo (Branco: MO – E; Branco 1: I – FV – E; Branco 2: I – L – E; Amostra 3: I – FV – MO – E; Amostra 4: I – L – MO – E) ... Erro! Marcador não definido.	
Figura 51. Gomos com micro-ondas	62
Figura 52. Gomos com impregnação de frutos vermelhos	62
Figura 53. Gomos com impregnação de sumo de laranja	62
Figura 54. Gomos com impregnação de frutos vermelhos e micro-ondas	62
Figura 55. Gomos com impregnação de sumo de laranja e micro-ondas	62
Figura 56. Gomos secos IFV	63
Figura 57. Evaporador	64
Figura 58. Gomos secos com imersão 2 min de frutos vermelhos e posterior HHP 100 MPa (5min)	64
Figura 59. Gomos secos com imersão 4 min de frutos vermelhos e posterior HHP 100 MPa (5min)	64
Figura 60. Gomos secos com impregnação 2 min de P 50 mbar	65
Figura 61. Gomos secos com impregnação 5 min de P 50 mbar	65
Figura 62. Gomos secos com impregnação 10 min de P 50 mbar	66

Abreviaturas

HHP – Alta pressão hidrostática

EUA – Estados Unidos da América

a_w – Atividade da água

PPO – Polifenoloxidase

TPA – Análise do Perfil de Textura

DCIP – Solução de 2,6- diclorofenolindofenol

E - Estufa

MOE – Micro-ondas e estufa

I-L-E – Impregnação de sumo de laranja e estufa

I-FV-E – Impregnação de sumo de frutos vermelhos e estufa

I-L-MO-E – Impregnação de sumo de laranja, micro-ondas e estufa

I-FV-MO-E – Impregnação de frutos vermelhos, micro-ondas e estufa

L - Luminosidade

I. Introdução

Frutas e vegetais são necessários à dieta, uma vez que possuem valor nutricional significativo e contribuem para melhorias da saúde (1), são contudo considerados perecíveis devido ao alto teor de humidade que possuem.(2) Muitas vezes este teor de água é demasiado elevado e isto compromete a conservação.(3)

É importante que a colheita das frutas seja feita na altura adequada, pois se for feita muito cedo o amadurecimento pode não ser conseguido, não alcançando a qualidade desejada e comprometendo o sabor e o aroma. Por outro lado, se a colheita for realizada demasiado tarde pode haver ataque de microrganismos e insetos, o que também compromete a qualidade do fruto.(4)

A preservação de frutas e vegetais é conseguida através de processos como o congelamento, armazenamento em atmosfera modificada e secagem. Apesar de existir vários processos, a secagem é um dos mais antigos e sempre foi de grande importância na indústria alimentar.(2, 5)

A secagem de frutas e vegetais é um método de conservação que implica a remoção de água devido à transferência de massa e calor simultaneamente.(1, 2) Esta perda de água leva a uma diminuição da a_w o que reduz o risco de desenvolvimento microbiano(1, 6) previne deteriorações químicas, reduz a massa total do produto e prolonga o seu período de validade. (7, 8)

Nos últimos anos tem sido dada muita atenção à qualidade de alimentos durante a secagem.(1) Este processo assenta em 3 grupos de objetivos: Considerações económicas, preocupações ambientais e aspetos de qualidade do produto.

O método tradicional de secagem (secagem solar) é um processo demasiado moroso, muito dependente das condições climáticas e também acarreta a possibilidade de contaminação microbiológica.(9) Por estas razões, este tipo de secagem não é o mais adequado.

Um processo que tem sido muito usado para obtenção de frutas e vegetais secos de alta qualidade é a liofilização. No entanto, é um processo caro e muito lento devido à baixa velocidade de secagem, o que leva a custos energéticos elevados.(10)

A secagem com ar aquecido é assim a técnica mais usada para a secagem comercial de produtos biológicos e apesar da enorme quantidade de informação sobre ela na literatura, ela continua a permanecer uma “arte” sempre com novos avanços, (11) e o seu

sucesso deve-se à aplicação de vários pré-tratamentos de secagem.(6, 12) Apesar do objetivo principal da secagem ser a conservação, a matéria-prima pode acabar num material completamente diferente com qualidade nutricional significativa (3) e é nesse ponto de vista que surge este trabalho. O objetivo é criar novos produtos através da secagem da maçã. Para isto pretende-se incorporar novos componentes no interior da maçã recorrendo a impregnação. Assim ao longo deste trabalho será necessário estudar a cinética de secagem relacionando com a temperatura, fenóis totais, o ácido ascórbico e os açúcares totais; estudar parâmetros de qualidade como a textura, a cor e ter em conta mudanças de atividade de água, visto que este fator é crucial na estabilidade e segurança de alimentos.

1. Matéria- prima

1.1 Maçã

A maçã é o fruto mais consumido nos países europeus e americanos. A maior parte da produção é para ser consumida na forma fresca e uma menor parte é transformada em sumos, concentrados e purés.(13) Sob este ponto de vista é aconselhável procurar ou desenvolver novos produtos de qualidade envolvendo este fruto de modo a diversificar o mercado.(1)

A maçã é o fruto da árvore *Pyrus malus* com 25 espécies, pertencente à família *Rosaceae*, contém pele fina e impermeável, forma variável (arredondada, alongada ou achatada); sabor mais ou menos doce e ligeiramente ácido, textura farinhenta ou crocante, dependendo da espécie; possui polpa homogénea (branca ou amarela), pode ser colhida durante todo o ano e a coloração exterior pode ser verde, parda, amarela, vermelha ou bicolor.(14, 15) Enquadra-se nos frutos climatéricos, isto porque mesmo quando é colhido mais cedo do que o suposto continua a amadurecer.

Este fruto é rico em água (85%).(14) Para além deste constituinte também possui alta quantidade de potássio, mineral mais abundante, que juntamente com a capacidade de produzir quantidades consideráveis de fibras, o torna um fruto indicado para a manutenção de saúde, prevenção de doenças cardíacas, prevenção de disfunção pulmonar e excesso de colesterol no sangue e para dietas alimentares, uma vez que a sua textura induz saciedade. (14, 16) A maçã é considerada uma fonte rica em fitoquímicos diversos como carotenoides, flavonoides, isoflavonóides e polifenóis que contribuem para a qualidade sensorial das frutas frescas e processadas. (12, 16)

Embora a maçã possua diferentes classes de compostos bioativos, as suas propriedades antioxidantes são atribuídas essencialmente aos compostos fenólicos e ao conteúdo de ácido ascórbico que possuem um grande impacto na saúde humana.(17) Os compostos fenólicos possuem um elevado número de ligações duplas e grupos hidroxilo, o que gera a sua atividade antioxidante. Os principais compostos fenólicos encontrados na maçã são: flavonóides (principal classe, representando mais de 80%), seguido por ácidos hidroxicinâmicos (1-31%), flavonóis (2-10%), dihidrocalconas (0,5-5%) e antocianinas (1%).(18) Apesar de ser difícil comparar o conteúdo de compostos fenólicos na maçã em diferentes estudos devido a variações causadas por diferentes períodos de crescimento, localização geográfica, condições de armazenamento e diversidade genética, sabe-se que a

maçã é uma fonte rica de compostos fenólicos.(13, 19) Estes compostos juntamente com os açúcares e ácidos orgânicos determinam a qualidade da maçã, pois têm um importante papel nas características gustativas como sabor, amargura, adstringência e também na cor.(20)

Os atributos de qualidade desejáveis de maçãs utilizadas para a secagem são a relação de açúcar e água, a cor e a redução de atividades enzimáticas indesejáveis. As maçãs secas perdem algumas vitaminas mas apresentam um valor energético muito elevado devido à concentração de açúcares (5 vezes mais calóricas).(21) Possuem grande adaptabilidade à desidratação devido à sua boa textura, firmeza, alto teor de açúcares e acidez. (14) A desidratação de maçãs é uma prática frequente já que as maçãs secas fazem parte de numerosos alimentos preparados e pode ser feita com fatias ou rodela, em pedaços, em cubos e também em pó.(12) Muitas culturas de maçã são usadas para a secagem mas a melhor qualidade de maçã seca fatiada é obtida da “Red Delicious” e da “Golden Delicious”. (14)

2. Secagem com ar aquecido

2.1 Fundamentos de secagem

O mercado de vegetais e frutas desidratadas é importante na maior parte dos países, permitindo uma maior disponibilidade dos alimentos em qualquer altura do ano. Por exemplo, nos EUA existe um grande mercado para a uva desidratada, alho, cebola e tomate. O crescimento da popularidade de alimentos de conveniência em muitos países asiáticos estimulou a procura crescente por frutas e vegetais desidratados de alta qualidade. Esta tendência deverá continuar e até mesmo acelerar na próxima década em todas as economias emergentes do mundo.(12, 22) A grande diversidade de alimentos desidratados a nível mundial disponíveis para a população (snacks, misturas e sopas secas, frutas secas, etc) e a grande preocupação em manter a qualidade dos mesmos e gastar pouca energia no processo, realça a necessidade de conhecer bem o processo de secagem.(23) A secagem é um dos processos mais útil na conservação da qualidade dos alimentos, (14) diminui a ação de enzimas, como a PPO, mas não as desativa, uma vez que as temperaturas usadas não são suficientes para se observar uma inativação. (24)

A secagem de alimentos é considerada simples, segura e fácil de implementar. (24) Para além disto tem outras vantagens, tais como:

- ✓ Aumento do prazo de validade do produto;
- ✓ O alimento desidratado é nutritivo;
- ✓ Facilidade no transporte e comercialização pois o alimento seco é leve e as suas qualidades permanecem inalteradas por longos períodos de tempo;
- ✓ Processo de secagem é económico, pois produtos desidratados têm baixo custo de armazenamento (24)

Como para se obter um alimento desidratado é necessário preparar o alimento através de outras etapas como lavagem, corte, branqueamento, entre outras para além da secagem em si, isto pode originar reações de deterioração de qualidade do alimento, como reações de oxidação de cor (4), encolhimento, mudança (ou perda) de textura e nutricional e perdas de propriedades funcionais. (12)

As frutas desidratadas devem manter o sabor, aroma, textura e cor e se possível não devem ter aditivos químicos. A taxa de degradação destes atributos deve-se exclusivamente à temperatura e humidade.(14)

A rapidez de um processo de secagem depende de vários fatores como as características típicas de cada alimento, tal como o tamanho e as condições usadas que inclui a temperatura, humidade relativa do ar e velocidade (24, 25), todos estes fatores têm sido estudados amplamente. (23) Estas condições mudam constantemente ao longo do processo de secagem o que torna difícil determinar a sua duração. (25)

Em estudos realizados por Krokida e co-autores concluiu-se que a cinética de secagem da maçã, rapidez com que a maçã perde água por evaporação, é essencialmente afetada pela temperatura do ar de secagem, sendo a velocidade e a humidade fatores com menos impacto neste processo. (23)

2.2 Transformações químicas durante a desidratação

O escurecimento é uma transformação química que ocorre ao longo do processo de secagem e está relacionado com alterações enzimáticas e não enzimáticas de compostos fenólicos e conteúdo em ácido ascórbico.

As maçãs, o objeto deste estudo, são ricas em polifenóis e por essa razão mais propícias ao escurecimento enzimático devido à presença da enzima polifenoloxidase (EC 1.14.18.1) (26) Esta também é conhecida como fenoloxidase, fenolase, monofenol oxidase, difenol oxidase e tirosinase; e o seu peso molecular em plantas varia entre 57 e 62 kDa. (21) A polifenoloxidase (PPO) tem como grupo prostético o cobre e sempre que este é removido, a enzima é inativada. Esta enzima catalisa duas reações distintas na presença de oxigénio molecular: primeiro a hidroxilação de monofenóis pela monofenolase e segundo a oxidação de o-difenóis a o-quinonas pela difenolase, (27) como se pode ver na fig.1.(21) Por análise da fig.1 verifica-se que a atividade da difenol oxidase deve-se a 2 enzimas diferentes: catecol oxidase e lacase. Por sua vez, a atividade da monofenol oxidase deve-se à ação da cresolase. A lacase é a única com capacidade para oxidar p-difenóis. A catecol oxidase e a lacase distinguem-se com base nos substratos fenólicos e nas especificidades dos seus inibidores. A catecol oxidase é mais importante que a cresolase, pois a maioria dos substratos fenólicos em alimentos são dihidroxifenóis.(21)

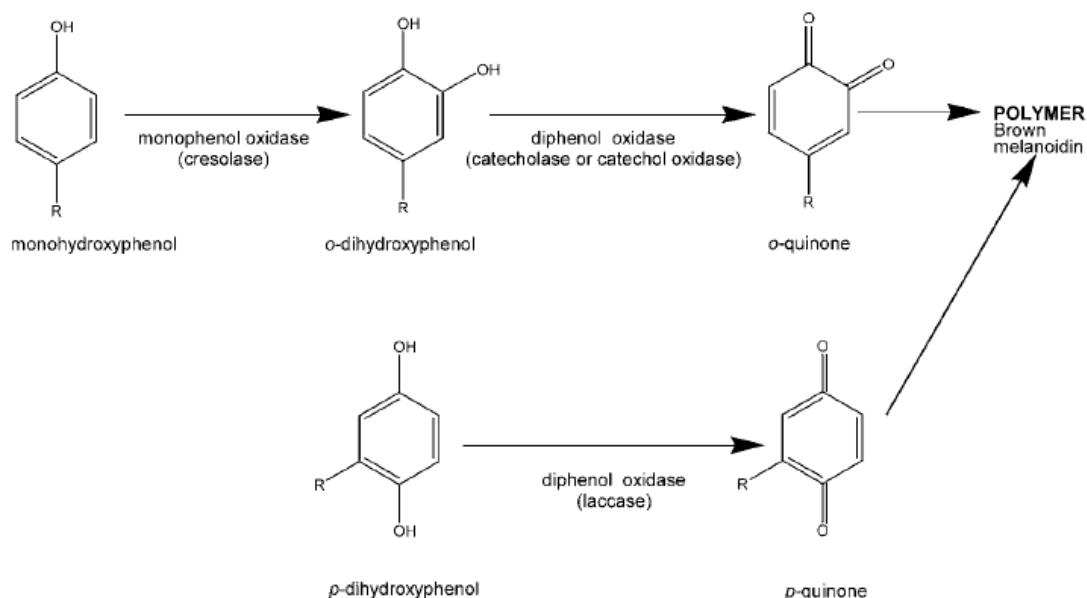


Figura 1. Ação da PPO(21)

Na última fase da via da PPO, devido à elevada reatividade das quinonas (28) segue-se a polimerização não enzimática destas a melanoidinas ou melaninas coloridas, pigmentos de massa molecular elevada e cor escura. (27) Estes produtos podem afetar os alimentos de forma positiva ou negativa, sendo positivo para café, chá, cacau e alguns frutos secos (passas, ameixas, tâmaras e figos), pois nestes alimentos desempenham um papel fisiológico chave. Este papel traduz-se em propriedades antibacterianas, anticancerígenas, antifúngicas e antioxidantes. (21)

Entre os compostos fenólicos localizados na maçã, apenas um pequeno número servem como substratos diretos para a PPO, nomeadamente o ácido clorogénico e as catequinas, a estrutura química destes pode ser observada na fig.2 e 3. (26)

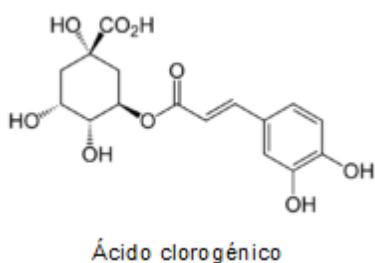


Figura 2. Estrutura química do ácido clorogénico(21)

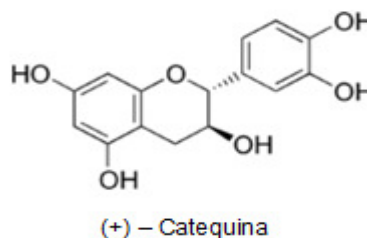


Figura 3. Estrutura química da catequina(21)

A relação entre o conteúdo de compostos fenólicos e a atividade da PPO é diretamente responsável pela reação de escurecimento das frutas durante a pós-colheita e processamento, bem como a temperatura, o pH e a disponibilidade de oxigénio nos tecidos. (21)

Como a atividade da PPO resulta num escurecimento enzimático de frutos e vegetais é desejável, em certos casos, inativar esta enzima em alimentos que a contêm. (29) Para evitar este escurecimento pode recorrer-se a compostos de enxofre mas em baixa concentração para não desenvolver sabores desagradáveis no alimento, (24) entre eles o sulfito, contudo o seu uso tem-se tornado restrito devido às reações graves que ocorrem em pacientes asmáticos. (21) Também se pode recorrer ao ácido ascórbico, mas a sua eficácia depende da sua concentração nos alimentos e o seu efeito é apenas temporário, pois o ácido ascórbico rapidamente se oxida a ácido dehidroascórbico. Outra alternativa para a diminuição do escurecimento é inativar diretamente a atividade de enzima polifenoloxidase pelo uso de tratamento térmico a temperaturas acima de 80°C (branqueamento) ou diminuição de pH. (26) Como a polifenoloxidase é ativa para uma gama de pH entre 6 e 7, para inativá-la é necessário diminuir o pH para um valor inferior a 4. (24) Em relação ao uso das temperaturas a 80°C considera-se prejudicial para o sabor do produto final, o que não seria o mais correto. (26) Além disto, outros processos tecnológicos podem ser aplicados como a aplicação micro-ondas, o branqueamento em combinação com agentes químicos anti-escurecimento, tratamentos de CO₂, pré-tratamentos com sódio ou cloreto de cálcio e tratamentos com alta pressão. (21) A alta pressão hidrostática (HHP) tem a capacidade de reduzir o número de microrganismos, inativar enzimas ou estimular a sua atividade. A PPO é uma enzima que quando comparada com outras como por exemplo, a peroxidase, é mais resistente à pressão do que aos tratamentos térmicos, pelo que para inativar a sua atividade seria ideal conjugar alta pressão e tratamentos térmicos. (27) Mas como durante o processo de secagem o escurecimento enzimático é uma característica física desejada devido às propriedades benéficas dos seus produtos, é necessário haver um determinado grau de escurecimento mas de forma controlada. (21) Estudos revelaram que a PPO é ativada em maçãs, framboesas e peras quando se recorre a pressões baixas (até 400 MPa), por sua vez quando se conjuga pressões superiores a 400 MPa com uma temperatura de 50°C, a atividade da PPO diminui. (27)

Para além do escurecimento enzimático, também pode ocorrer um escurecimento não enzimático, tipicamente denominado reação de Maillard, que inclui reações entre aminoácidos e açúcares redutores com formação de melanoidinas, ocorrendo assim perda de valor nutritivo de proteínas. Estas reações são propícias em alimentos com uma a_w entre 0,5 e 0,8, como a maçã tem uma a_w de 0,985, inicialmente não ocorreria este tipo de reação, além disso as temperaturas usadas não são suficientemente altas para favorecer a mesma reação, porém os compostos de Amadori formados durante os primeiros passos de reações de Maillard foram detetados em algumas frutas desidratadas. (21, 24) Isto pode acontecer pelo uso de pré-tratamentos de secagem, como a alta pressão hidrostática. Num estudo realizado por Nuñez-Mancilla e co-autores verificou-se um aumento nítido nos valores de NEB (escurecimento não enzimático) em função do aumento da pressão no pré-tratamento de alta pressão hidrostática.(30)

3. Atividade da água no produto desidratado e as reações químicas, enzimáticas e microbiológicas

O conteúdo de água de um alimento pode conduzir à sua deterioração (a nível de microrganismos e reações enzimáticas) e como consequência há uma perda da sua qualidade. (24) Portanto uma medição exata da a_w é um objetivo crucial na indústria dos alimentos e prova disto é que artigos que têm sido publicados nos últimos 60 anos relacionam a a_w com estabilidade e segurança de materiais biológicos, o que torna este parâmetro essencial na conservação de alimentos.(31, 32) Quando se recorre à secagem de frutos e vegetais diz-se que se está a conservar o alimento isto porque a água removida e a consequente diminuição da a_w reduz o risco de desenvolvimento microbiano.(1)

Nos produtos do género alimentício a água pode ser encontrada em duas formas: livre e combinada. A água livre corresponde à água que não está ligada e localiza-se entre os poros do alimento sendo a mais abundante e está disponível para o crescimento de microrganismos e para reações enzimáticas, por sua vez a água combinada é a soma de água absorvida e ligada e esta necessita de altas temperaturas para a sua remoção.(24, 31)A água livre é a que corresponde à a_w e esta é definida como a razão entre a pressão parcial de vapor de água no alimento (P1) e a pressão parcial de vapor de água pura (P2):

$$a_w = P1 / P2 \quad (33)$$

A a_w resultante no produto final é dependente de propriedades do fluxo de ar: velocidade, humidade relativa e temperatura usada. Pode ser medida por várias técnicas, em que todas se baseiam no equilíbrio termodinâmico entre a amostra e um pequeno volume de ar. Esta medição pode ser feita de forma direta, geralmente com manómetros de pressão ou simplesmente medidores de a_w (24), ou de forma indireta através de higrómetros.(31) O seu valor varia de 0 a 1. (24) Na fig.4 pode ser vista a influência da a_w na estabilidade dos alimentos.

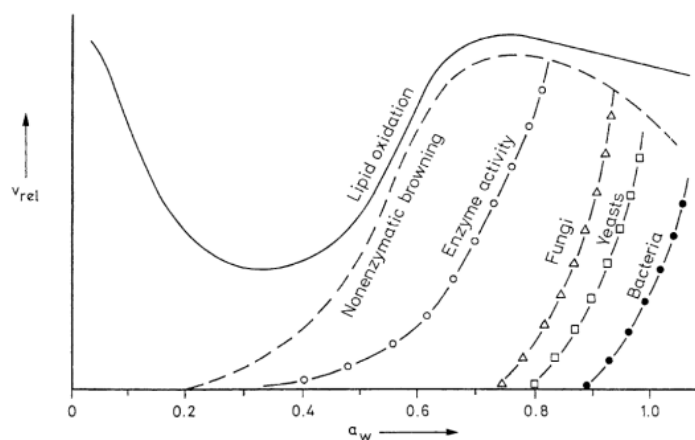


Figura 4.Estabilidade dos alimentos em função da atividade da água (34)

Nos alimentos ricos em água, ou seja, com valor elevado de a_w ($a_w > 0,9$) formam-se soluções diluídas com parte do alimento, o que serve de substrato para os microrganismos, assim estes alimentos sofrem facilmente contaminação microbiana. Quando o valor de a_w é inferior a 0,7 a maioria dos fungos não apresenta atividade, apesar de algumas espécies de leveduras crescerem lentamente a uma atividade da água entre 0,62 – 0,70. A a_w na gama de 0,4 - 0,8 é propícia a reações químicas e enzimáticas rápidas pelo aumento da concentração de reagentes.

Quando a a_w está próxima de 0,6 praticamente não há crescimento de microrganismos, o que há é numa proporção muito pequena. Por outro lado se a a_w for demasiado baixa ($a_w < 0,3$) atinge-se a zona de absorção primária, em que as moléculas de água estão fortemente ligadas ao alimento, assim as reações têm velocidade 0 e não há desenvolvimento de microrganismos. (24, 32) O comportamento de microrganismos em relação à a_w varia, sendo que as bactérias são as mais exigentes ($a_w = 0,91$), de seguida as leveduras ($a_w = 0,88$) e por fim os fungos ($a_w = 0,80$). (24)

A a_w do produto final seria dependente do período de validade esperado e dos seus atributos de qualidade desejados, principalmente propriedades óticas e de textura. A relação entre o teor de água ou humidade de equilíbrio a uma determinada temperatura e a atividade de água é chamada de isoterma de sorção, que é importante para alimentos de baixa humidade que são fundamentais para o design, modelagem e otimização de muitos processos, entre eles a secagem. (35)

O escurecimento (enzimático e não enzimático) e a oxidação de lípidos são alterações que ocorrem nos alimentos durante a secagem influenciadas pelo teor de água.

As frutas secadas normalmente apresentam a_w entre 0,6 e 0,85 e isto coloca a oxidação lipídica como o principal responsável da deterioração de alimentos desidratados, contudo se a fruta for seca o suficiente até uma gama inferior a 0,5 há uma maior proteção de lípidos e assim prevalece a conservação do valor nutricional do fruto.(24)

Porém um alimento completamente seco não está imune aos esporos, pelo que é crucial garantir condições ideais de embalagem e armazenamento.

4. Pré- tratamentos usados na secagem

Existe alguns pré-tratamentos de secagem a nível comercial, sendo os mais comuns o uso de antioxidantes, a sulfitação e outros que serão explorados neste trabalho. Estes pré-tratamentos são selecionados de acordo com o tipo de alimento a ser seco, a sua utilização final e disponibilidade. O objetivo de implementar estes pré-tratamentos é impedir a perda de cor, evitar o escurecimento de alimentos (36) e reduzir o tempo de secagem o que faz aumentar a eficiência do processo e assim produzir um produto seco de boa qualidade, (37) prolongando deste modo o prazo de validade dos produtos desidratados. (24)

4.1 Antioxidantes

Os antioxidantes mais usados são o ácido ascórbico (vitamina C) e o ácido cítrico. Estes ácidos podem ser usados de maneira combinada ou de forma individual (4%), (24) ou ainda combinando ácido ascórbico com água, no entanto a proteção do escurecimento do produto neste caso não é tao longa do que usando um pré-tratamento de sulfitação. (38) O objetivo de se recorrer a este tipo de pré-tratamento para além da inibição do escurecimento enzimático é conseguir manter os níveis de ácido ascórbico ao longo do

processo de secagem, pois durante a secagem com o uso de temperaturas elevadas é natural ocorrerem perdas de ácido ascórbico.(39)

Num estudo sobre secagem de maçãs realizado por Saraiva e co-autores observou-se que submetendo as maçãs a secagem sem usar um tratamento com antioxidantes o produto final era escurecido, mas quando se recorreu ao uso de tratamentos com ácido ascórbico e ácido cítrico, esse escurecimento diminuiu. Se bem que só se obteve uma maior diminuição de escurecimento quando se combinou ácido ascórbico com ácido cítrico.(14)

Portanto este pré-tratamento para ter os efeitos desejados deve ser aplicado imediatamente antes de se submeter o produto à secagem.(24)

4.2 Alta pressão

Comummente recorre-se a pré-tratamentos térmicos de secagem, porém o uso destes pode causar deterioração da qualidade dos alimentos uma vez que a energia térmica em demasia induz várias reações químicas.(2) Para contornar estas desvantagens que podem ocorrer com um pré-tratamento térmico, recorre-se a pré-tratamentos não térmicos de modo a prolongar o prazo de validade dos produtos. (29) Também se pode combinar um pré-tratamento não térmico com tratamentos suaves de calor com o objetivo de branqueamento (40) e assim desativar as enzimas responsáveis por escurecimento e sabores inaceitáveis pelos consumidores.(37)

Os métodos não térmicos com interesse para a indústria são o HHP, campos elétricos pulsados, luz pulsada de alta intensidade, ultrassom e luz ultravioleta.(2) Aquele que é mais usual é a alta pressão hidrostática (HHP).(40) No método hidrostático, o produto é submetido a alta pressão dentro de um vaso pressurizado, usando um meio, comumente a água potável, que transfere a pressão ao produto.(29) A alta pressão em geral tem vantagens em relação aos tratamentos térmicos, pois tem a capacidade de deixar certas moléculas, como as vitaminas e compostos voláteis, intatas e assim não há alterações de sabor, visto que estas moléculas são responsáveis pelo sabor. (29)

HHP usa pressões na gama de 100 a 800 MPa de modo a inibir a atividade enzimática e provocar destruição microbiana.(29, 40) Este tratamento também se diz vantajoso em relação a outros pré-tratamentos no sentido em que amostras pré-tratadas com ele apresentam a textura e a cor mais próxima da matéria-prima do que usando outros tratamentos. Para além disto, quando as frutas e os vegetais são pré-tratados com HHP, a

permeabilização celular pode favorecer a difusão, o que pode aumentar a velocidade de secagem, que é um dos objetivos pretendidos ao recorrer-se a tratamentos não térmicos. Contudo só há um aumento de difusão quando são aplicadas pressões até 400 MPa,(40) como o fruto usado foi a maçã, a difusão à partida iria aumentar, pois este fruto é sensível à pressão, razão pela qual não seria aplicada uma pressão superior a 400 MPa.(29, 40) O efeito deste pré-tratamento só é considerado significativo para baixas temperaturas de secagem, uma vez que um aumento da temperatura e uma melhoria das condições de secagem podem falsear o efeito do pré-tratamento.(40)

Neste trabalho recorreu-se a HHP na maçã que foi cortada em gomos devido ao volume do aparelho disponível.

4.3 Impregnação a vácuo

Este pré-tratamento geralmente é aplicado após a HHP de modo a permitir a entrada de componentes num determinado alimento. (41) Porém também pode ser usado como pré-tratamento individual antes do processo de secagem e neste caso também há a introdução de componentes no interior do alimento, por exemplo, a impregnação de ácido ascórbico na forma de sumo para impedir o acastanhamento do alimento ao longo do processo de secagem. (7)

Neste trabalho pretendeu-se incorporar na maçã um determinado tipo de sumo que modificasse o sabor e a cor da maçã seca de modo positivo para o consumidor, assim seria relevante que o sumo tivesse características benéficas no domínio da saúde. Uma aposta seria usar sumo de laranja já que este é constituído por vários compostos bioativos antioxidantes (ácido ascórbico, flavonoides, carotenoides). (41) Outra alternativa foi o uso de sumo de frutos vermelhos. Este sumo tem grande interesse devido ao seu alto conteúdo de antocianinas, que são compostos com elevado poder antioxidante, levando a melhorias no domínio da saúde, nomeadamente na prevenção de doenças degenerativas. (28)

Como o objetivo foi produzir maçã enriquecida, era necessário que o sumo fosse introduzido nos poros ou espaços intercelulares.

Após este processo de impregnação, as amostras são submetidas a secagem.(42)

4.4 Micro-ondas

A aplicação do micro-ondas como pré-tratamento surgiu pela necessidade de desenvolver uma tecnologia que fosse mais rápida e que usasse temperaturas mais baixas de modo a originar produtos de boa qualidade e com menor teor de humidade. As ondas micro-ondas são geradas pelo magnetron, um tubo oscilante alimentado por um circuito eletrónico que tem a capacidade de converter a energia elétrica de frequência industrial para a energia eletromagnética de micro-ondas. (43) O grande interesse nesta tecnologia prende-se com a elevada penetração destas ondas não só na superfície mas também no interior dos alimentos e isto faz com que a secagem por este processo seja mais rápida. Por outro lado o calor é gerado na parte do alimento que está húmida mas não nas partes secas, assim as partes do alimento secas não são desnecessariamente aquecidas e deste modo não há efeitos negativos no produto alimentício em função do calor. (44) Contudo esta tecnologia por si só tem algumas limitações. Apesar do aquecimento micro-ondas fornecer energia para gerar calor nas partes húmidas dos alimentos, pode não haver uniformidade no aquecimento, por esta razão é necessário que os alimentos estejam em constante movimento na cavidade interna de micro-ondas. Outro problema encontrado é o difícil controlo de temperatura no produto final, contrariamente à secagem convectiva. Diz-se ainda que a profundidade de penetração de micro-ondas tem uma frequência de 915 MHz que em comparação com as radiofrequências é baixa (2450 MHz). Por fim, o transporte de massa muito rápido por potência micro-ondas pode causar danos e/ou alterações indesejáveis na textura dos alimentos por aquilo que se chama de “sopro”. (22)

5. Combinação de secagem convectiva e micro-ondas

Para contornar as limitações da tecnologia micro-ondas combinou-se esta com a secagem convectiva (ar quente) de modo a melhorar a qualidade do produto. (44) Esta combinação reduz a degradação de compostos nutricionais (45) e melhora a eficiência e economia do processo de secagem e pode ser realizada de três formas:

- 1- Uso de energia micro-ondas no início do processo de secagem.
- 2- Uso de energia micro-ondas após a secagem com ar quente em que a humidade concentra-se na zona interna central.

- 3- Uso de energia micro-ondas quando há um baixo teor de humidade para terminar a secagem. Aqui o fluxo de vapor que sai para o exterior do alimento ajuda a evitar o encolhimento do alimento. (46)

Na fig.5 está representado o esquema deste tipo de sistema.

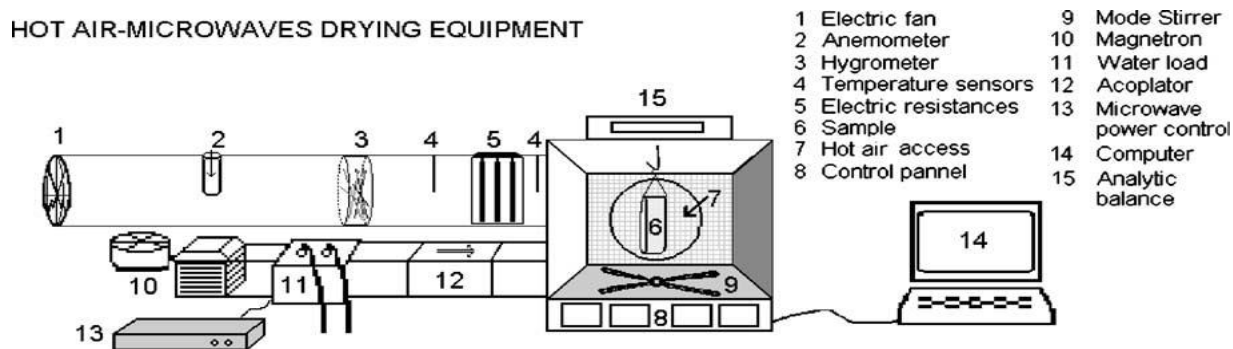


Figura 5. Figura esquemática do equipamento do micro-ondas combinado com secagem convectiva (46)

Há certos alimentos em que é necessário o controlo de certas variáveis durante o uso de micro-ondas como a potência e a temperatura, pois estas podem afetar a qualidade do produto final, especialmente em alimentos porosos como a maçã.(7) Portanto o uso da estufa vai servir para o controlo da temperatura e o uso do micro-ondas serviria para o controlo da humidade e velocidade do ar de secagem, porém não houve disponibilidade do tipo de micro-ondas necessário, pelo que foi usado um micro-ondas doméstico.

5.1 Fases do processo de secagem combinando secagem convectiva com micro-ondas

Ao submeter alimentos ao processo de secagem, como há uma diferença de temperatura significativa, ocorre uma transferência de calor da fonte quente para o alimento e paralelamente a isso ocorre evaporação de água. Neste processo de secagem há 5 fases distintas, como se pode ver na fig.6.

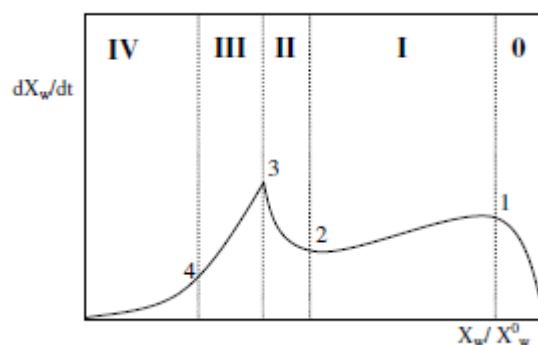


Figura 6. Forma das curvas de secagem para cilindros de maçã combinando ar quente e micro-ondas (46)

1ª fase corresponde ao período 0 – nesta a temperatura sobe rapidamente e há um aumento de velocidade de secagem.

2ª fase corresponde ao período I – Nesta o alimento tende a perder água por evaporação. O que também acontece nesta fase é que as amostras quando são impregnadas com uma solução tendem a perder mais água e por consequência têm menor velocidade de secagem do que amostras não - impregnadas.

3ª fase corresponde ao período II – Nesta a velocidade de secagem atinge um pico máximo, o que pode ser explicado por uma ação paralela de gradientes de temperatura e humidade. Esta fase reforça a ideia que combinando secagem convectiva com micro-ondas revela-se benéfico pois atinge-se um pico máximo de secagem. Ao usar apenas a secagem convectiva tal não se verifica, pois o processo é mais lento havendo apenas fases de velocidade de secagem constantes ou de diminuição.

4ª fase corresponde ao período III – Nesta é observável uma diminuição da velocidade de secagem.

5ª fase corresponde ao período IV – Nesta a velocidade de secagem continua a diminuir e aqui a perda de água é explicada por fenómenos de difusão interna. (46)

6. Parâmetros de qualidade em alimentos desidratados

6.1 Cor

A cor é um atributo de grande importância no ato de avaliar a qualidade de um alimento, pois a apreciação visual é o primeiro dos sentidos a ser usado, sendo portanto uma característica crucial na determinação do valor comercial do produto.(4) Na maçã, a cor é a primeira característica externa que determina o nível de aceitação pelo

consumidor.(4, 43)É considerada uma propriedade fundamental nos frutos, pois foi demonstrado que ela se correlaciona diretamente com outras características benéficas físicas, químicas e sensoriais.(9) Após a percepção visual que resulta da interação da luz num determinado alimento obtém-se aquilo que se chama de cor, e esta pode variar em três dimensões: luminosidade ou brilho (L), pureza (C*) ou saturação (alta pureza implica cor bem definida) e a tonalidade ou matiz (h) que está relacionada com o predomínio de um a* (verde a vermelho) e de um b* (azul a amarelo).(9, 45)

A cor dos alimentos deve-se principalmente à presença de pigmentos naturais, estes podem ser antocianinas (vermelho vivo ao violeta), carotenos (verde como a maçã e laranja), xantofilas (amarelo – claro) e licopeno (vermelho como o tomate).(24) Esta característica deve ser preservada ao longo do processo de secagem,(14) contudo ao usar-se a secagem convectiva pode ocorrer efeitos negativos na cor e além disto, há características do próprio alimento como o pH e a acidez que também podem afetar a cor negativamente.(47) Mas com a combinação da secagem convectiva com a aplicação micro-ondas como o processo de secagem é mais rápido, não há tempo para provocar alterações bruscas na cor do alimento.(48)

A medição de cor dos alimentos pode realizar-se recorrendo a uma vasta gama de espaços e de cor, mas os mais usados são o HunterLab e o sistema L*a*b* (CIELab)(9) ou pode ainda ser avaliada através de análise sensorial, em que se realiza um teste do Perfil de características como uma escala de 5 pontos, em que 1 é péssimo e 5 é excelente.(49) Os instrumentos HunterLab duplicam como os nossos olhos vêem a cor e medem a cor do alimento originando valores numéricos que se relacionam com o que se vê. No espaço de cor Hunter, L varia de preto (0) a branco (100) e a e b mostram a oposição de cor, em que a varia de verde (-a) a vermelho (+a) e b de azul (-b) a amarelo (+b), como se pode ver na fig.7. (9)

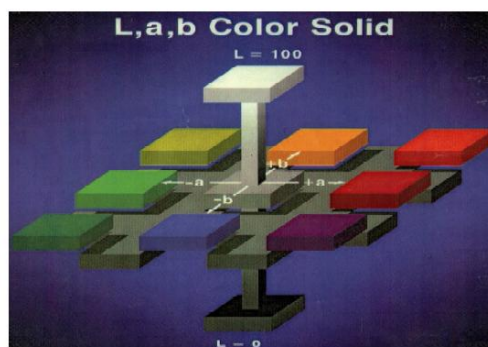


Figura 7. Espaço de cor. Hunterlab (9)

6.2 Textura

Segundo a norma ISO (1992), a “textura é o conjunto de propriedades mecânicas, geométricas e de superfície de um produto, detetáveis pelos recetores mecânicos e tácteis e, eventualmente pelos recetores visuais e auditivos.”

A textura relaciona-se com as sensações de mastigação (24) e resulta de interações entre os diferentes constituintes dos alimentos.(9) A textura dos vegetais depende do teor de celulose, hemicelulose (fibras insolúveis) e pectina (fibra solúvel).(24) As eventuais alterações de textura ao longo do processamento dos alimentos ocorrem devido a possíveis mudanças a nível micro - estrutural das células.(9)

Os atributos organoléticos de qualidade de um alimento asseguram a aceitabilidade do alimento pelo consumidor e dependem de propriedades de textura como aparência e sabor. Desta maneira é necessário assegurar o controlo de textura de alimentos durante o seu processamento, inclusive durante a secagem.

Os parâmetros de textura são a dureza, a adesividade, a elasticidade, a coesividade e a mastigabilidade, parâmetros que podem ser medidos com um analisador de textura chamado texturómetro (TA XT Plus).(9) (47) A dureza (D), expressa em Newton, representa a força necessária para esmagar um alimento entre os dentes, ou seja, a força necessária que dá origem a deformação, sendo considerada a força máxima aplicada no primeiro ciclo. A adesividade representa a capacidade das amostras se ligarem umas às outras. A coesividade representa as forças que estão no interior do alimento mantendo a estrutura unida. A elasticidade mede a velocidade de volta ao estado inicial depois da remoção da força que gerou deformação e é a razão entre as distâncias percorridas pela sonda até se atingir a força máxima em cada uma das curvas. Por fim, a mastigabilidade

mede a energia que é precisa para triturar um alimento ao ponto de ser engolido e é o produto da dureza, elasticidade e coesividade.(9, 50, 51)

Além deste modo de determinação de textura em alimentos, também é possível analisar a textura de um alimento por meio de análise sensorial. Neste tipo de análise recorre-se a um Teste de escala não estruturada, onde os provadores marcam com um traço a avaliação da textura sobre uma linha horizontal de 10 cm, em que 0 significa “ nenhuma firmeza ou nada duro” e 10 significa “extremamente firme ou muito duro”.(49) Porém este modo de avaliação de textura tem um elevado custo, implica a criação e manutenção do painel de provadores, o método de análise não é de todo o mais vantajoso e o tempo de resposta pode ser demorado, portanto a análise instrumental de textura é mais prática.

Há vários estudos que pretendem mostrar que a textura pode ser melhorada recorrendo a pré-tratamentos como a desidratação osmótica (6) ou combinando a secagem convectiva com a aplicação micro-ondas.(44) Num estudo realizado por Cuccurullo e co-autores mostrou-se que aplicando micro-ondas em conjunto com secagem convectiva aumenta-se o valor de atributos de textura como a adesividade, a elasticidade e a mastigabilidade.(7)

Ao longo do processo de secagem há várias alterações a nível físico, químico e nutricional. As principais alterações que modificam a qualidade dos alimentos durante este processo estão relacionadas com a perda de vitaminas solúveis em água e com o encolhimento.(52) O encolhimento é uma deformação da microestrutura do alimento (1) e é uma das alterações mais visíveis durante a secagem.(24) Esta mudança ocorre já na fase final da secagem, visto que o centro do alimento é a parte final a ser seca e quando seca verifica-se encolhimento podendo originar fendas ou rachaduras, alterando assim por consequência a textura do alimento.(24)

Quando se verifica um encolhimento do alimento gera-se tensões internas, a remoção de água leva a um aumento de rigidez na camada externa do alimento e ao mesmo tempo gera-se gradientes de humidade. A amplitude do encolhimento depende do método de secagem aplicado e de fatores de secagem como a temperatura, a velocidade do ar e a humidade relativa (12) e afeta a porosidade do alimento seco, este parâmetro é importante pois afeta as propriedades de transferência de massa, as propriedades mecânicas e a textura do alimento.(5)

Quando se aplica uma secagem rápida, a superfície do alimento fica menos côncava e rígida, por outro lado, quando é aplicada uma secagem lenta a superfície fica mais côncava e rígida, verificando-se um maior encolhimento.(24)

O encolhimento aumenta por vezes quando se recorre a pré-tratamentos como o branqueamento (53) mas também pode ser atenuado se houver aplicação de energia micro-ondas.(54)

Para determinar o encolhimento da amostra é necessário medir o volume inicial da amostra e o volume final da amostra.(52) A % de encolhimento é assim dada pela seguinte equação:

$$\% \text{ de encolhimento} = (1 - (v_t/v_0)) * 100,$$

onde v_0 é o primeiro volume da amostra e v_t o segundo volume da amostra num determinado intervalo de tempo.(55) Também é possível avaliar o encolhimento da amostra por análise visual.

II. Material e métodos

1. Local

O presente estudo foi desenvolvido no Departamento de Química da Universidade de Aveiro. Numa primeira etapa procedeu-se aos ensaios de secagem bem como aos pré-tratamentos de secagem, tendo sempre como referência o valor da a_w . Numa segunda etapa, analisou-se a textura, a cor, a atividade enzimática da PPO, o conteúdo de fenóis totais, açúcares totais e de ácido ascórbico nas várias amostras secas.

1.1 Preparação das amostras de maçã

O tipo de maçã a ser escolhido deveria ser de calibre pequeno, económico e simples de secar. Perante as exigências recorreu-se à maçã Golden, calibre pequeno.

As maçãs foram adquiridas localmente. Até serem usadas, as frutas foram armazenadas sob refrigeração a 4°C. Antes de cada ensaio experimental as amostras de maçã foram lavadas, descascadas, cortadas (gomos ou cubos) e distribuídas uniformemente na instalação de secagem de maneira a permitir uma circulação de ar o mais homogénea possível.

2. Determinação de humidade

Antes de cada ensaio, para a determinação da humidade inicial, foram retirados gomos de maçã pertencentes ao mesmo lote a ser seco e foram pesados. De seguida foram colocados numa estufa a 105 ± 1 ° C durante 12 horas (AOAC, 1998). Após esse período, transferiu-se as amostras para um exsiccador até arrefecerem e serem pesadas. Repetiu-se a secagem na estufa, arrefecimento e pesagem até a massa pesada atingir o valor constante. Através da massa inicial e final obtida da amostra fresca foi possível determinar a humidade inicial, bem como a humidade final da amostra seca no ensaio realizado no secador, recorrendo ao mesmo procedimento utilizado para a determinação da humidade inicial. Todos os ensaios foram realizados em triplicado.

3. Secagem

Os ensaios de secagem realizados podem ser visualizados na fig.8, os números correspondem a cada ensaio específico e aparecem ao longo do trabalho.

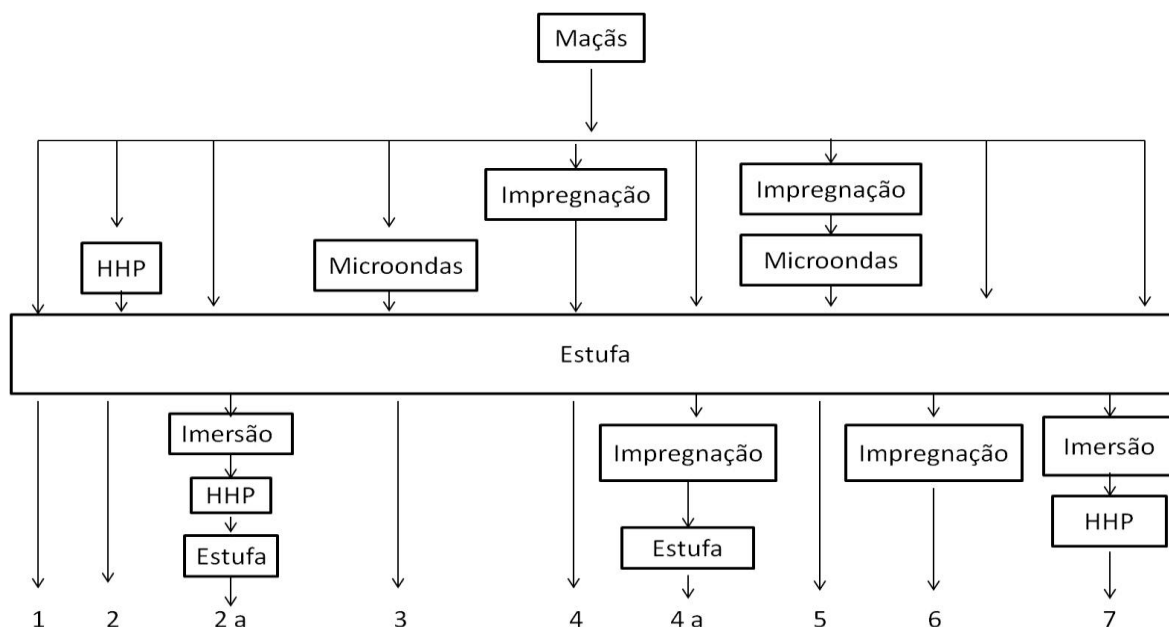


Figura 8. Representação esquemática dos ensaios de secagem

3.1 Estufa -1

Para otimizar o processo de secagem, a maçã fresca foi cortada em gomos e estes foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar (VENTICELL) a uma temperatura de 45°C conforme o citado na literatura.

3.2 HHP + Estufa – 2 e 2 a

Os tratamentos por alta pressão foram feitos num equipamento da Universidade de Aveiro (Unipress, Modelo U33, Polónia). Este equipamento consegue atingir pressões de 700 MPa; contém um vaso de pressurização com capacidade de 100 ml (35 mm de diâmetro e 100 mm de altura). As amostras de maçã para serem introduzidas no vaso foram cortadas em gomos. Dois gomos foram colocados por saco de polietileno (fig.9), e submetidos a vácuo para remover o ar. As amostras de maçã frescas (**2**) e secas (**2 a**) (com imersão 5 min em sumo de frutos vermelhos) foram submetidas a 100 MPa, 250 MPa e 400 MPa, durante 5 min. Para além deste ensaio foi realizado outro, em que as amostras de

maçã frescas foram submetidas a 100 MPa durante 5, 10 e 15 min. Estes processos de HHP foram seguidos de secagem em estufa.



Figura 9. Maçã embalada antes da alta pressão hidrostática (HHP)

3.3 Micro-ondas + Estufa -3

A maçã tem as células do tecido do parênquima homogêneas e estruturalmente menos complexas que outros frutos, o que facilita a compreensão da interação da maçã com o micro-ondas.(56) Para perceber a influência do micro-ondas na velocidade de secagem, recorreu-se a um micro-ondas doméstico (potencia de saída 700 W) seguido de estufa. As amostras usadas foram gomos de maçã submetidos a 2 condições:

- ✓ 1 min com potência máxima;
- ✓ 2 min com potência intermédia;

Após o processo de micro-ondas, os gomos foram submetidos à secagem em estufa.

3.4 Impregnação + estufa- 4 e 4a

Para verificar o efeito da impregnação a vácuo no processo de secagem, os gomos frescos (4) e secos (4 a) foram impregnados a vácuo com sumo de laranja e sumo de frutos vermelhos. Foi utilizada uma bomba de vácuo (BÜCHI, V-500). Para a impregnação usaram-se 2 condições:

- 1) 50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm}
- 2) Imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min

Processo este que foi seguido de secagem com estufa.

3.5 Impregnação + micro-ondas + estufa - 5

A impregnação com aplicação de potência micro-ondas será vantajosa, pois aumenta a porosidade. Além disto também se verifica uma menor perda de volume de maçãs quando se realiza impregnação.(46)

Para este tipo de processo foram usados gomos e cubos de maçã. Realizou-se impregnação com sumo de laranja e sumo de frutos vermelhos de acordo com a condição:

- ✓ 50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm}

Após impregnação as amostras foram submetidas à potência máxima no micro-ondas durante 1 min e posterior secagem. Para fins de comparação consideraram-se 2 brancos:

- ✓ Gomos e cubos submetidos a micro-ondas e estufa;
- ✓ Gomos e cubos submetidos a impregnação de sumo e estufa

3.6 Estufa + Impregnação - 6

Este tipo de processo tem mais rigor no controlo da a_w , pois são usados gomos secos e estes estão com a a_w recomendada, o importante é tentar impregnar de maneira a a_w ser aceitável, ou seja, menor que 0,7. Para isso realizaram-se 2 ensaios com a bomba de vácuo:

- ✓ Gomos impregnados com sumo de frutos vermelhos a 50 mbar durante 10 min + 10 min P_{atm}
- ✓ Gomos impregnados com sumo de frutos vermelhos a 50 mbar durante 10 min

Em consequência dos resultados dos ensaios anteriores foi preparado um sumo concentrado de frutos vermelhos através de um evaporador rotativo, com o objetivo de não aumentar a a_w dos gomos já secos e garantir uma a_w desejável. O °Brix (teor de sólidos solúveis) foi medido no sumo natural e no sumo concentrado com um refratômetro manual.(57) Com este sumo realizaram-se ensaios de impregnação a vácuo em gomos secos, com as seguintes condições:

- ✓ Impregnação a 50 mbar durante 10 min
- ✓ Impregnação a 50 mbar durante 5 min
- ✓ Impregnação a 50 mbar durante 2 min

3.7 Estufa + Imersão + HHP -7

Com o sumo concentrado de frutos vermelhos realizaram-se ensaios de imersão de gomos secos (2 min e 4 min) seguida de HHP a 100 MPa durante 5 min.

4. Determinação de parâmetros físicos

4.1 Determinação da atividade da água

Para a determinação da a_w , as amostras de fruta seca, em diferentes condições de secagem, foram cortadas em pequenos pedaços e colocadas nas células de plástico correspondentes (4 cm \varnothing * 1,5 cm altura). De seguida, mediu-se com um medidor de a_w (NOVASINA, LabSwift - a_w), tal como se pode ver na fig.10, o valor de a_w das várias amostras em triplicado ao fim de 40 min de estabilização da atmosfera envolvente. A temperatura selecionada para o equipamento foi de 25°C e as células estiveram sempre fechadas de modo a que não ocorresse trocas com o meio exterior.



Figura 10. Medidor de atividade da água

4.2 Análise de textura

Uma das propriedades de textura da fruta seca foi estudada pelo método de TPA, utilizando um texturómetro (Stable Micro Systems TA – Hdi, UK) adaptado com uma sonda circular de penetração (diâmetro de 2 mm). Este equipamento possui interfaces de ligação para a aquisição e análise de dados, através do programa Texture Exceed, versão 1.0. Os parâmetros de aquisição para os testes realizados foram os seguintes: velocidade da sonda (1 mm/s); distância (10 mm); tempo de ciclo completo (45 s); célula de carga (5 Kg) e taxa de aquisição (25 pps).

A metodologia utilizada para estudar a textura das amostras secas, por diferentes tratamentos de secagem, consistiu na seleção de 3 gomos por cada tratamento a que tinham sido submetidos. Para cada gomo foram realizadas 3 medições (perfurações) e teve-se o cuidado de apoiar o gomo, de modo a evitar deslizamentos na superfície do equipamento. No teste TPA a força aplicada vai sendo registada em função do tempo, através do *software* instalado.

Obtido o perfil TPA determinou-se a resistência à rutura. Esta característica é expressa em Newton.

4.3 Análise de cor

A cor das diferentes amostras que foram secadas com estufa e das amostras que foram submetidas a HHP e secadas foi analisada através de um programa denominado ColorPick (CIELab). Este programa foi alterado de maneira a dar os valores do sistema CIELab. O espaço de cor CIELab, ou $L^*a^*b^*$, é um padrão internacional para a medição da cor, adotado pela Comissão Internacional d'Eclairage (CIE) em 1979. L^* é o componente luminância ou luminosidade, que varia de 0 (preto) a 100 (branco), e os parâmetros a^* (de verde a vermelho) e b^* (de azul a amarelo) são os dois componentes cromáticos, que variam de -120 a 120.(9) Para cada uma das amostras foram retirados 200 valores para cada parâmetro.

O Microsoft Excel 2007 foi usado para calcular a média e o desvio padrão dos dados obtidos e para gerar gráficos.

5. Determinação da atividade da Polifenoloxidade (PPO)

O escurecimento enzimático da maçã, mediado pela PPO, foi quantificado pela atividade da PPO em amostras de maçã frescas, secadas sem pré-tratamento e em amostras secadas que tinham sido submetidas a tratamentos de HHP de 100, 250 e 400 MPa.

A extração foi realizada pelo método descrito por Fernandes e co-autores com algumas alterações e consistiu na homogeneização de 2,5 g de maçã com 12 ml de 0,2 M de tampão fosfato de sódio (pH 6,5) e 4% (m/m) polivinilpirrolidona (PVP), utilizando um ultraturrax (58), seguido de agitação a 4°C durante 1 hora.(59) O homogeneizado foi centrifugado a 10000 g's durante 20 min a 4°C. O sobrenadante (extrato enzimático) foi recolhido e mantido em refrigeração até à quantificação enzimática.(59, 60)

Para quantificar a atividade da PPO recorreu-se a um espectrofotómetro UV/visível (Elmer, modelo lambda 35), utilizando o método descrito por Castro e co – autores mas com algumas alterações. Uma solução de catecol (Fluka) 0,01 M em tampão fosfato de sódio 0,1 M, a pH 6,5, foi utilizada como substrato. A mistura reacional resultou de 1 ml de substrato a 37°C durante 2 min e de 0,1 ml de extrato enzimático. A atividade da PPO

calculou-se a partir do declive, que relaciona absorvância com o tempo, e foi expressa como Abs₄₁₁/min/g peso seco.(59)

6. Determinação de parâmetros químicos

6.1 Determinação de fenóis totais

Determinaram-se os fenóis totais em maçã fresca e em amostras de maçã secadas que foram submetidas a diferentes pré-tratamentos. Para quantificar os fenóis totais recorreu-se a um espectrofotómetro UV/ visível (Elmer, modelo lambda 35). Para realizar esta determinação foi necessário realizar a extração das amostras(13). A extração consistiu na homogeneização de 4 g de amostra e 80 ml de extração: acetona/água destilada/ácido acético (70:28:2), utilizando um ultraturrax, seguido de agitação a 4°C durante 1 hora. O homogeneizado foi centrifugado a 17000 x g durante 15 min.

Foi construída uma curva de calibração com concentrações conhecidas (0 a 250 mg/L) de ácido gálico. Pipetou-se 0,125 ml de cada solução padrão, acrescentou-se 0,5 ml de água destilada e 0,125 ml de reagente Folin-Ciocalteu. Deixou-se reagir 5 min, adicionou-se 1,25 ml de carbonato de sódio a 7,5% (m/v) e 1 ml de água destilada. Agitou-se no vórtice e deixou-se reagir 90 min à temperatura ambiente. Leu-se as absorvâncias a 760 nm. Para as amostras seguiu-se o mesmo procedimento com diluições adequadas a cada uma delas. As análises foram realizadas em triplicado e os resultados foram expressos em miligramas de ácido gálico por 100 gramas de peso seco (mg ácido gálico/ 100 g de peso seco). (61)

6.2 Determinação de ácido ascórbico

Determinou-se o teor de ácido ascórbico na maçã fresca e em amostras de maçã secadas que foram submetidas a diferentes pré-tratamentos. Para quantificar o ácido ascórbico recorreu-se a um espectrofotómetro UV/ visível (Elmer, modelo lambda 35). Para realizar esta determinação foi necessário realizar a extração das amostras (17). A extração consistiu na homogeneização de 4 g de amostra e 80 ml de extração: utilizando um ultraturrax, seguido de agitação a 4°C durante 1 hora. O homogeneizado foi centrifugado a 17000 x g durante 15 min.

Foi construída uma curva de calibração com concentrações conhecidas (0 a 80 mg/L) de ácido ascórbico. Preparou-se ácido oxálico 0,4% (m/v), DCIP (36 mg/L) e solução

padrão-mãe de ácido ascórbico a 0,100% (m/v) em ácido oxálico a 0,4% (m/v). Pipetou-se 1 ml de cada solução padrão de ácido ascórbico e acrescentou-se 9 ml de DCIP. Posteriormente agitou-se no vórtice. Para cada diluição fez-se um branco. Leu-se as absorvâncias a 515 nm. Para as amostras seguiu-se o mesmo procedimento com concentrações adequadas. As análises foram realizadas em triplicado e os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por 100 gramas de peso seco (mg ácido ascórbico/ 100 g de peso seco).(17)

6.3 Determinação de açúcares totais

Determinou-se o teor de açúcares totais na maçã fresca e em amostras de maçã secadas que foram submetidas a diferentes pré-tratamentos. Para quantificar os açúcares totais recorreu-se a um espectrofotômetro UV/ visível (Elmer, modelo lambda 35). Para realizar esta determinação foi necessário realizar a extração das amostras (triturar parte do fruto em água),(62) seguido de filtração.

Foi construída uma curva de calibração com concentrações conhecidas (0 a 750 mg/L) de glucose. Preparou-se a solução de glucose (750 mg/l) e de fenol a 5% (m/v). Pipetou-se 0,1 ml de cada solução padrão, 1 ml de fenol a 5 % (m/v), 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente homogeneizou-se no vórtice, tapou-se com papel de alumínio e levou-se a um banho durante 10 min (T= 100 °C), Seguidamente, deixou-se arrefecer em água fria e após estabilização da temperatura leu-se as absorvâncias a 490 nm. (63, 64) Para as amostras seguiu-se o mesmo procedimento com diluições adequadas a cada uma delas. As análises foram realizadas em triplicado e os resultados foram expressos em miligramas de glucose por grama de peso seco (mg glucose/ g de peso seco).

III. Resultados e discussão

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos no trabalho experimental, assim como a sua discussão.

1. Atividade da água

A a_w está relacionada com a segurança e qualidade alimentar, razão pela qual é essencial que a fruta seca tenha uma a_w adequada. Como um dos objetivos da secagem é prolongar o período de validade dos produtos, é essencial a redução da a_w para um nível que iniba o crescimento de microrganismos.

Realizou-se um ensaio com gomos de maçã frescos submetidos à secagem com estufa. Através deste concluiu-se que a maçã para estar seca e ter uma a_w entre 0,4 – 0,6 deverá perder 82% de água. A fig.11 apresenta a variação da a_w e a variação de teor de água em função do tempo. Por análise desta figura verifica-se que a secagem tem de ser levada até aos 570 min, pois um menor tempo implicaria uma a_w mais elevada e propícia ao desenvolvimento de microrganismos.

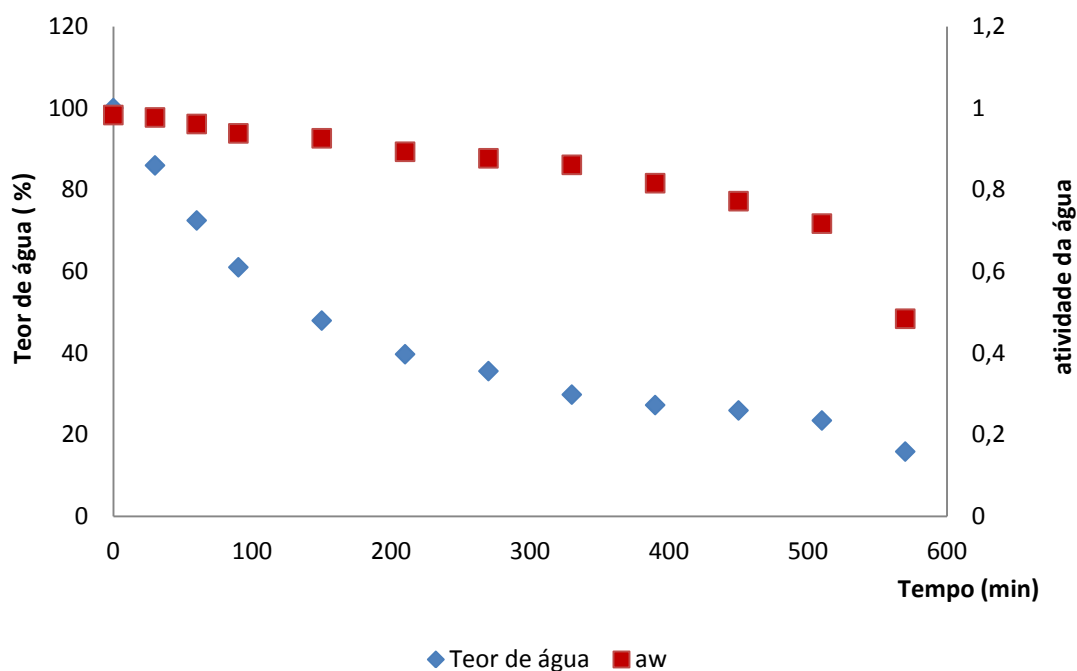


Figura 11. Variação do teor de água (%) e da atividade da água em função do tempo (min)

2. Cinética de secagem - 1

As amostras de maçã fresca (12 gomos) foram colocadas na estufa a 45°C e foram retiradas para pesagem a cada 60 minutos. Nestas condições a secagem foi de 600 minutos. Na fig.12 é visualizada a média do teor de água em função do tempo.

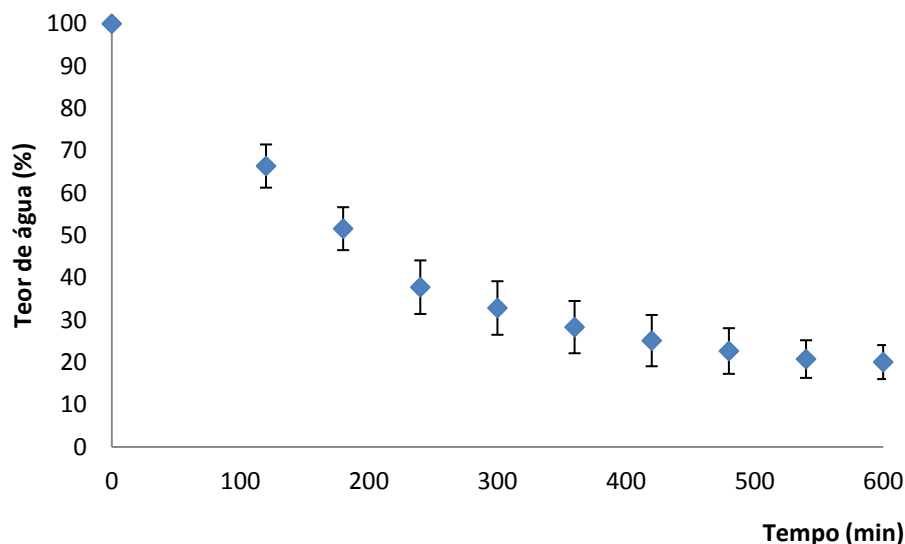


Figura 12. Variação do teor de água (%) da maçã em função do tempo (min) de secagem

3. Efeito de HHP na velocidade de secagem (2 e 2a) vs Atividade da PPO

Um estudo realizado por Yucel e co-autores argumenta que aplicando HHP até uma pressão de 400 MPa, a permeabilização celular aumenta a difusão e por consequência o processo de secagem torna-se mais rápido (40), mas por análise da fig.17. conclui-se que o processo de secagem não é acelerado quando se recorre a HHP, pelo contrário as amostras submetidas a HHP demoram mais tempo a secar que as amostras controlo. Neste ensaio a pesagem das amostras ocorreu a cada 30 minutos, o que aumentou a taxa de secagem.

No caso das amostras de controlo a perda de 82% de água verificou-se aos 360 minutos. Isto significa que num caso real em que seja utilizado um forno industrial com extrações de ar a secagem será mais curta.

Num estudo realizado por Vega-Gálvez e co-autores verifica-se uma maior diminuição da integridade celular em amostras pré-tratadas com HHP em comparação com amostras não tratadas, isto porque há mais danos na parede celular devido à tensão excessiva nas membranas e stress na parede celular.(65) Além disto a PPO na maçã parece ser sensível a

altas pressões, razão pela qual não se usará pressões muito elevadas para as amostras de maçã. (29) Com estes dados, as maçãs foram submetidas a 3 pressões diferentes durante 5 min cada: 100, 250 e 400 MPa.



Figura 13. Maçã sem tratamento

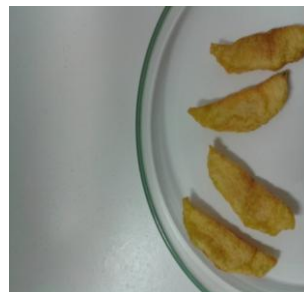


Figura 14. Maçã tratada a 100MPa



Figura 15. Maçã tratada a 250 MPa



Figura 16. Maçã tratada a 400 MPa

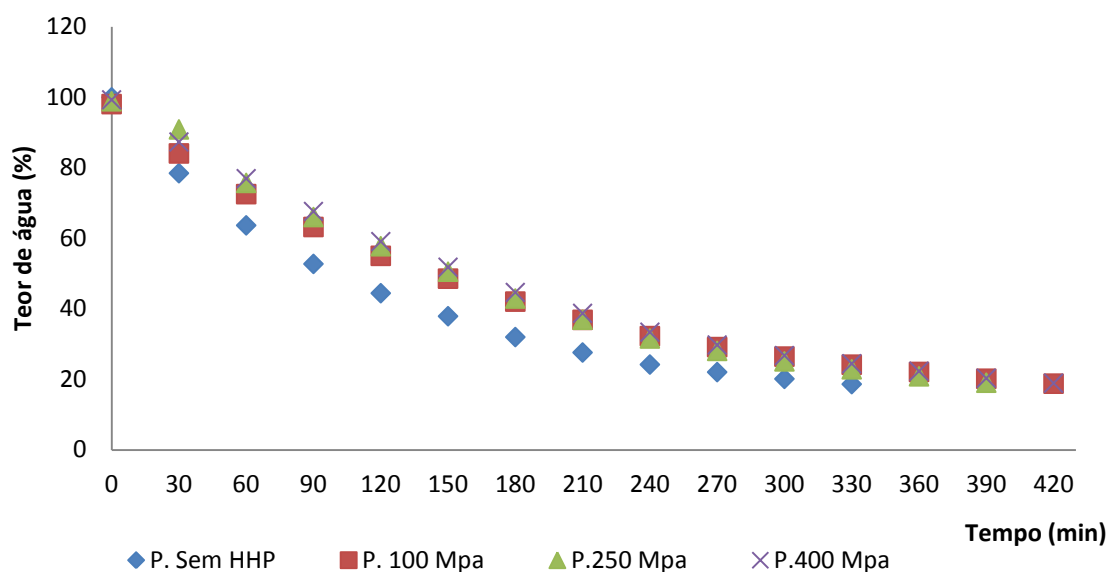


Figura 17. Teor de água (%) ao longo do tempo em amostras sem tratamento (sem HHP) e amostras pré - tratadas com HHP a 100 MPa, 250 MPa e 400 MPa

Por análise das figs.13, 14, 15 e 16 conclui-se que o uso de HHP provoca um maior encolhimento nas amostras e à medida que o valor de pressão aumenta, o escurecimento torna-se mais acentuado. Isto poderia indiciar uma maior atividade de PPO com o aumento da pressão. A tabela 1 apresenta os valores encontrados para a atividade da PPO na amostra fresca, na seca com estufa e nas amostras secas depois de submetidas a HHP. Verifica-se que a PPO não é inativada completamente pelo tratamento a 45°C nem pelo tratamento de HHP e posterior secagem, pelo contrário há um aumento da atividade enzimática residual nos gomos secos em função do aumento da HHP. O fato da PPO ainda estar ativa após a secagem significa que durante o processo de secagem ela esteve a atuar.

A HHP pode ter atuado de duas formas: ativando a PPO em função do aumento da pressão, como se pode verificar pelos dados da tabela 1, e por uma libertação incrementada de fenóis em função da pressão. No estudo realizado por Hendrickx e co-autores argumenta-se que ao recorrer-se a pressões baixas (até 100 MPa) ativa-se algumas enzimas como a PPO, mas usando pressões de 100 – 700 MPa pode ocorrer inativação da PPO na maçã, mas o pH tem de ser baixo de modo a facilitar essa inativação. Neste estudo o pH das maçãs foi de 4,5, contudo verificou-se uma aparente ativação da PPO em função do aumento da pressão.(66) Por sua vez, a libertação incrementada de fenóis que pode ocorrer em função do aumento da pressão pode estar relacionada com a diminuição sucessiva da

integridade celular das amostras pré - tratadas por HHP, ocorrendo uma maior exposição dos fenóis à PPO e ao oxigénio.

O valor de atividade enzimática residual apesar de aumentar em função do aumento de HHP não atinge o valor da atividade enzimática das amostras submetidas apenas à estufa. Como estas amostras não foram submetidas a HHP, a integridade celular foi maior, havendo um menor teor de fenóis libertados, o que justifica a coloração ser menos escura que as amostras que foram submetidas a HHP. Tudo isto indica que o escurecimento sucessivo nas amostras pré-tratadas com HHP não tem de ser apenas enzimático, pode ser não enzimático e prova disso é que num estudo realizado por Nuñez-Mancilla e co-autores observou-se um aumento nítido nos valores NEB (escurecimento não enzimático) em função do aumento da pressão.(30)

Tabela 1. Registo dos valores da atividade da polifenoloxidase para a maçã fresca, seca e pressurizada a 100, 250 e 400 MPa durante 5 minutos (\pm desvio padrão)

Amostras	Atividade enzimática (Abs/min/g peso seco)
Maçã fresca	7,81 \pm 0,138
Gomos secos com estufa sem HHP	1,43 \pm 0,005
Gomos HHP 100 MPa	0,74 \pm 0,005
Gomos HHP 250 MPa	1,07 \pm 0,003
Gomos HHP 400 MPa	1,21 \pm 0,002

O fato do escurecimento aumentar para pressões de 250 e 400 MPa vai de encontro ao que diz Gomes e co-autores, que reportam que a maçã quando submetida a pressões de 200, 400 e 600 MPa fica muito escura.(67) Como o aspeto a 250 e a 400 MPa não é muito apelativo descartou-se a possibilidade de usar este tipo de pressões.

Na tabela 2 pode-se visualizar a a_w nas várias amostras submetidas a diferentes HHP de amostras que não foram submetidas a HHP. Por análise desta, verifica-se valores aceitáveis de a_w .

Tabela 2. Valores de atividade da água em amostras frescas submetidas a HHP a 100, 250 e 400 MPa com posterior secagem e em amostras secas com estufa (\pm desvio padrão)

Amostras	a_w
Gomos secos em estufa	$0,429 \pm 0,002$
Gomos HHP 100 MPa (5 min)	$0,494 \pm 0,001$
Gomos HHP 250 MPa (5 min)	$0,540 \pm 0,003$
Gomos HHP 400 MPa (5 min)	$0,530 \pm 0,002$

Análise de alguns parâmetros de cor para os gomos submetidos a HHP a 100, 250 e 400 MPa (5min) e para os gomos sem HHP

Foi feita uma análise de cor às fotos apresentadas nas figuras 13, 14, 15, 16. Os parâmetros L^* , a^* e b^* são apresentados na fig.18. Verifica-se uma diminuição do valor de L^* com o aumento da pressão. Isto está de acordo com o estudo realizado por Mandala e co-autores (6) e por Sosa e co-autores, que reportam que uma diminuição de L^* pode estar associada ao desenvolvimento do escurecimento.(1) Verifica-se que os valores de a^* são positivos indicando a predominância da coloração vermelha sobre a verde (que daria origem a valores de a^* negativos). Os valores de b^* foram positivos, indicadores de predominância da coloração amarela sobre a azul (b negativo). Desta forma as amostras tratadas a 100 MPa com um valor de a^* mais baixo e b^* mais elevado, tendem mais para a cor amarela com pouca influência do vermelho. Por sua vez, a amostra tratada à pressão de 400 MPa apresenta uma predominância do vermelho e um valor menos relevante para o amarelo.(9)

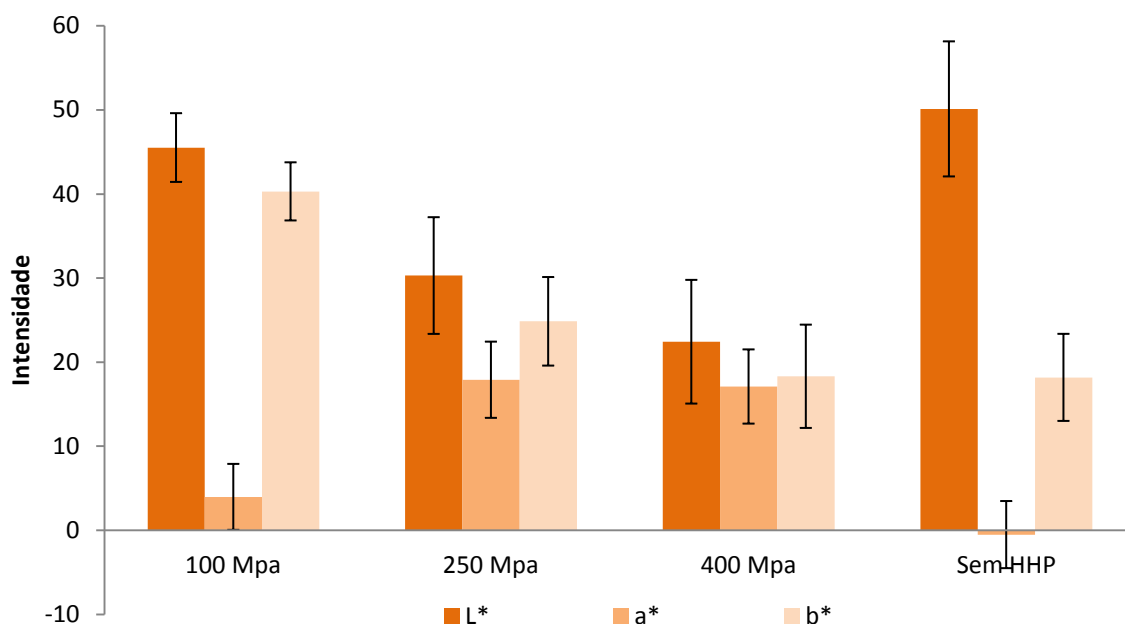


Figura 18. Parâmetros L^* , a^* e b^* de amostras tratadas a 100, 250 e 400 MPa e de amostras sem tratamento (sem HHP)

Relativamente ao branco (amostras sem tratamento) verificou-se maiores valores de L^* , por consequência estas amostras foram as menos escuras. Em relação aos valores de a^* verificou-se uma predominância de verde sobre o vermelho (a^* positivo), o que implica que a cor manteve-se fiel à cor da maçã fresca. Por fim, os valores de b^* foram positivos, indicando a predominância de amarelo sobre o azul, ainda que estas amostras sejam menos amareladas do que as amostras pré- tratadas com HHP.

Perante a situação resolveu submeter-se as maçãs a uma pressão de 100 MPa mas a tempos diferentes: 5, 10 e 15 min. Para fins de comparação, recorreu-se a amostras de controlo (não tratadas) e estas foram secas simultaneamente com as amostras tratadas com HHP. A cinética de secagem foi realizada de meia em meia hora.



Figura 19. Maçã tratada a 100 MPa (5min)



Figura 20. Maçã tratada a 100 MPa (10min)



Figura 21. Maçã tratada a 100 MPa (15min)



Figura 22. Maçã sem tratamento

Por análise das figs.19, 20 e 21 conclui-se que à medida que aumenta o tempo de alta pressão, o escurecimento acentua-se. Em termos de velocidade de secagem, contrariamente ao que diz Yucel e co-autores (40), este pré-tratamento de alta pressão não se revela vantajoso, pois a perda de água ao longo do tempo é maior nas amostras sem HHP do que nas amostras pré- tratadas por HHP, tal como se pode ver na fig.23.

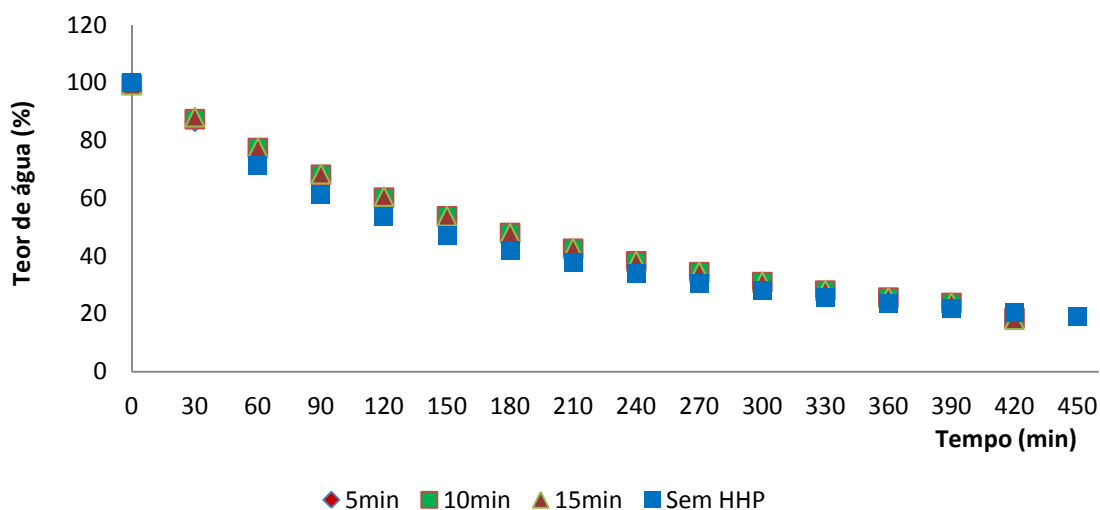


Figura 23. Teor de água (%) ao longo do tempo em amostras de maçã sem tratamento (sem HHP) e amostras pré - tratadas com 100 MPa a tempos diferentes

Na tabela 3 pode visualizar-se os valores de a_w das amostras submetidas a HHP a 100 MPa (5, 10 e 15 min) e de amostras sem HHP, verificando-se valores de a_w satisfatórios.

Tabela 3. Valores de atividade da água em amostras frescas submetidas a HHP a 100 MPa com posterior secagem (5, 10 e 15 min) (\pm desvio padrão)

Amostras	a_w
Gomos secos em estufa	$0,429 \pm 0,002$
Gomos HHP 100 MPa (5 min)	$0,495 \pm 0,001$
Gomos HHP 100 MPa (10 min)	$0,492 \pm 0,001$
Gomos HHP 100 MPa (15 min)	$0,514 \pm 0,001$

Análise de alguns parâmetros de cor para os gomos submetidos a HHP a 100 MPa (5,10 e 15 min) e para os gomos sem tratamento

Foi feita uma análise de cor às fotos apresentadas nas figuras 19, 20, 21 e 22. Os parâmetros L^* , a^* e b^* são apresentados nas fig.24. Por análise da figura 24 não se consegue perceber a influência do tempo de HHP a 100 MPa no escurecimento, mas verificou-se um aumento de L^* nas amostras sem tratamento, o que evidencia um menor escurecimento. Verifica-se para as amostras tratadas com HHP valores de a^* positivos, indicando a predominância de vermelho sobre o verde (a negativo) e valores de b^* também positivos, indicando predominância de amarelo sobre o azul (b^* negativo). De modo geral os valores de b^* são mais elevados que os valores de a^* , indicando uma predominância de cor amarela sobre vermelha. À medida que aumenta o tempo de HHP a 100 MPa maior é o valor de a^* e menor o de b^* , o que significa que o aumento do tempo leva a tons menos amarelados e mais avermelhados, por consequência mais escuros, o que corresponde à análise visual.(9) Por outro lado, nas amostras sem tratamento verificaram-se valores de a^* negativos, indicando a predominância de verde sobre o vermelho, o que implicou uma

manutenção da cor em relação à maçã fresca. Também se verificaram valores de b^* positivos, indicando a predominância de amarelo sobre o azul.

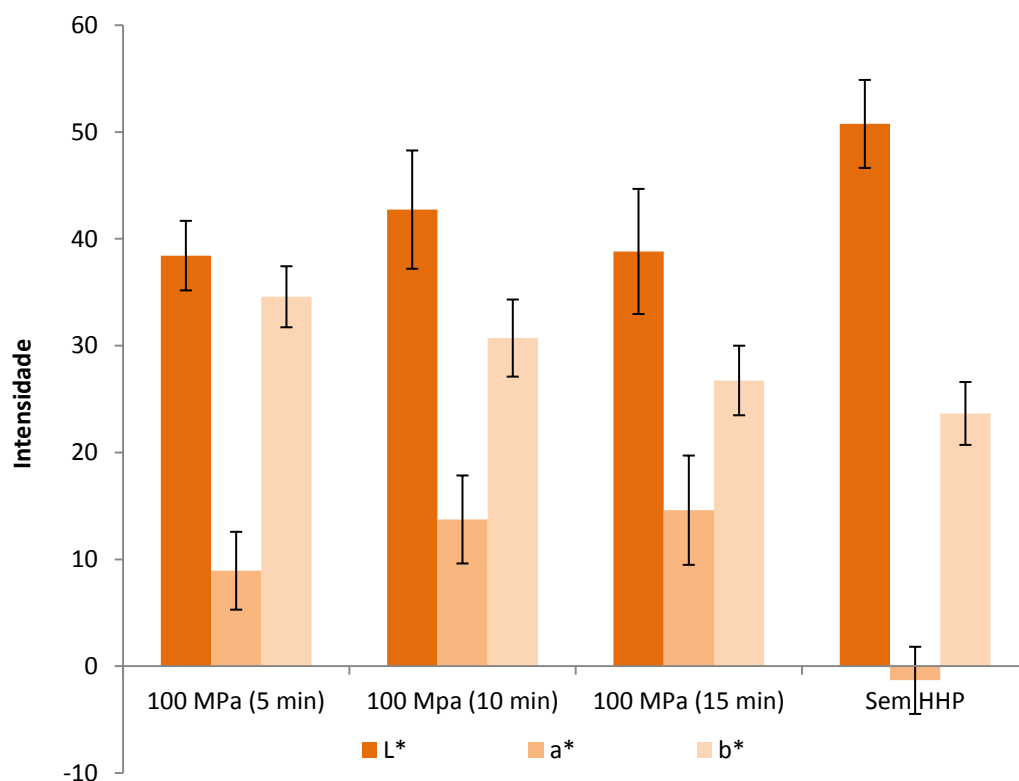


Figura 24. Parâmetros L^* , a^* e b^* de amostras tratadas a 100 MPa (5, 10 e 15 min) e sem tratamento (sem HHP)

Também foi realizado um estudo em gomos secos (10 horas de secagem) imersos em sumo de frutos vermelhos por 5 min e depois submetidos a HHP com pressões de 100, 250 e 400 MPa. Os resultados após secagem podem ser visualizados nas figs.25,26 e 27.

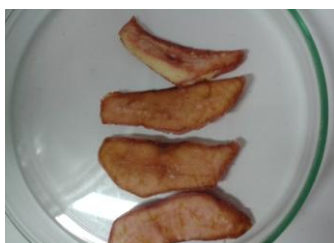


Figura 25. Maçã tratada a 100 MPa



Figura 26. Maçã tratada a 250 MPa



Figura 27. Maçã tratada a 400 MPa

Por análise das figuras, verifica-se uma cor muito parecida em todas as pressões, sendo esta cor aceitável mas pouco homogênea. Porém para 250 e 400 MPa, os gomos aparecem meios desfeitos, o que implica que a sua estrutura foi afetada, o que coincide com o reportado por Vega-Gálvez e co-autores.(65) Além disto, os gomos precisam de 4,5 horas adicionais a secar o que dá um total de 14,5h, o que significa que o processo é mais lento do que usando gomos frescos, logo a execução do procedimento com HHP por gomos secos é descartada.

Na tabela 4 pode visualizar-se os valores de a_w destas amostras. Estes valores foram suficientemente baixos, isto deve-se ao fato dos gomos terem sido submetidos novamente à secagem após a HHP.

Tabela 4. Valores de atividade da água em amostras secas com imersão em sumo de frutos vermelhos, HHP a 100, 250 e 400 MPa (5min) e posterior secagem (\pm desvio padrão)

Amostras	a_w
Gomos HHP 100 MPa (5 min)	$0,500 \pm 0,002$
Gomos HHP 250 MPa (5 min)	$0,513 \pm 0,003$
Gomos HHP 400 MPa (5 min)	$0,508 \pm 0,006$

Relativamente à análise de cor, os resultados para os parâmetros L^* , a^* e b^* não deram resultados utilizáveis, o que seria de esperar, visto a cor não ser homogênea.

Após toda esta análise com HHP descarta-se a possibilidade de usar este pré-tratamento como um acelerador do processo de secagem.

4. Efeito de micro-ondas na velocidade de secagem -3

Num estudo realizado por Carranza- Concha e co-autores diz-se que a utilização de micro-ondas como pré-tratamento acelera o processo de secagem. (44) Para perceber realmente qual a influência do micro-ondas ao longo do processo de secagem recorreu-se ao uso de um micro-ondas doméstico seguido de estufa. Neste tipo de micro-ondas é possível controlar a potência, então usou-se 2 potências diferentes: a potência máxima durante 1 min e a potência intermédia durante 2 min. Os dados podem ser visualizados nas figuras 28,29,30 e 31.

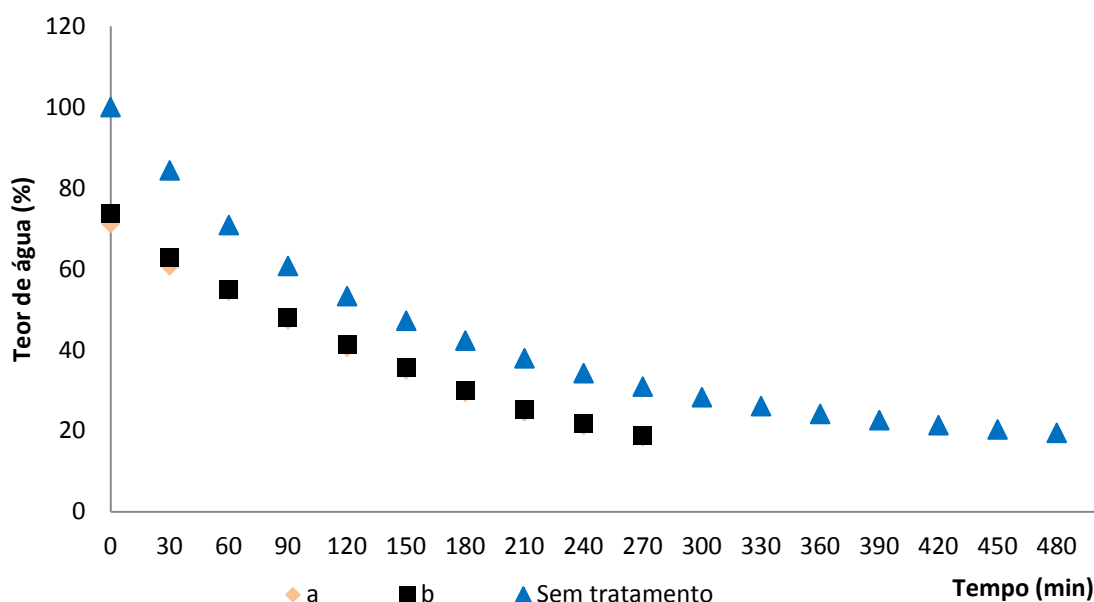


Figura 28. Teor de água (%) ao longo do tempo em amostras sem tratamento e com pré - tratamento micro-ondas; a – potência máxima 1 min e b – potência intermédia 2 min



Figura 29. Gomos tratados com micro-ondas com potência máxima 1 min



Figura 30. Gomos tratados com micro-ondas com potência intermédia 2 min



Figura 31. Gomos sem tratamento

Por análise da fig.28 concluiu-se que os gomos tratados com micro-ondas têm vantagens em relação aos gomos sem tratamento na velocidade do processo de secagem e por análise das figs.29, 30 e 31 observou-se melhorias no aspeto geral e de cor dos gomos pré-tratados. Em relação às potências não houve grandes alterações, visto que é um micro-ondas doméstico. Nos gomos tratados por micro-ondas observa-se o “sopro” reportado por Zhang e co- autores, o que é um aspeto negativo sob o ponto de vista visual. Contudo é de realçar que a cor dos gomos secos com pré-tratamento com micro-ondas sofreu poucas variações após secagem. Apesar de não ter sido efetuada a determinação da atividade da PPO nestas amostras, é possível especular que o tratamento por micro-ondas desativou a PPO.

5. Efeito da impregnação a vácuo e de antioxidantes no processo de secagem- 4 e 4a

Para estudar este efeito foram usados 2 tipos de sumos diferentes: Sumo de laranja e sumo de frutos vermelhos.

Sumo de laranja

Para os gomos frescos apenas se recorreu à condição 1) (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm}) e conseguiu-se um aumento de peso por impregnação de 2,8 g (Peso inicial = 26,146; Peso final = 28,927). O aspeto é apelativo, como se pode ver na fig. 32, a cor manteve-se amarelada o que indica que a atividade da PPO foi inibida e a a_w foi de 0,406. Contudo a duração de secagem de $\approx 22h$ faz totalmente inviável este processo.

Para os gomos secos durante 10 h usaram-se as 2 condições e conseguiu-se maior impregnação com a 1) (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm}), tal como se pode ver na tabela 5. Além disso, o valor impregnado com o uso de gomos secos e condição 1 é maior que o valor impregnado com o uso de gomos frescos e condição 1.

Tabela 5. Gomos secos impregnados com sumo de laranja com 2 condições diferentes (condição 1 – 50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm} ; condição 2 – imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min) (\pm desvio padrão)

	Condição 1	Condição 2
Peso inicial	5,851	3,948
Peso após impregnação	10,019	4,125
Valor impregnado (g)	4,168	0,177
a_w	$0,435 \pm 0,006$	$0,398 \pm 0,008$

Em relação à duração de secagem é cerca de 6 h adicionais, o que no total dá 16 h, menos do que a duração de secagem de gomos frescos, contudo o aspeto é mais atrativo nos gomos frescos, o que se pode comprovar pela visualização das figs. 32, 33 e 34.



Figura 32. Gomos frescos com impregnação de sumo de laranja (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm})



Figura 33. Gomos secos com impregnação de sumo de laranja (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm})



Figura 34. Gomos secos com impregnação de sumo de laranja (imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min)

Sumo de frutos vermelhos

Para os gomos frescos e secos usaram-se as 2 condições e conseguiu-se maior impregnação com a condição 1) (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm}), tal como se pode ver nas tabelas 6 e 7. A a_w foi aceitável para as 2 condições.

Tabela 6. Gomos frescos impregnados com sumo de frutos vermelhos com 2 condições diferentes (condição 1 – 50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm} ; condição 2 – imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min) (\pm desvio padrão)

	Condição 1	Condição 2
--	------------	------------

Peso inicial	8,905	7,715
Peso após impregnação	11,438	8,728
Valor impregnado (g)	2,533	1,013
a_w	$0,384 \pm 0,012$	$0,369 \pm 0,014$

Tabela 7. Gomos secos impregnados com sumo de frutos vermelhos com 2 condições diferentes (condição 1 – 50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm} ; condição 2 – imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min) (\pm desvio padrão)

	Condição 1	Condição 2
Peso inicial	3,482	3,737
Peso após impregnação	5,777	5,152
Valor impregnado (g)	2,295	1,415
a_w	$0,479 \pm 0,006$	$0,433 \pm 0,002$

A duração de secagem dos gomos frescos foi de $\approx 19h$ e dos gomos secos $\approx 5h$ adicionais, isto com uma perda total de água. O aspeto dos gomos está apresentado nas figs. 35, 36, 37 e 38. O uso de gomos secos, neste caso, levou a um aspeto mais atrativo que o uso de gomos frescos.



Figura 35. Gomos frescos com impregnação de frutos vermelhos (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm})



Figura 36. Gomos frescos com impregnação de frutos vermelhos (imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min)



Figura 37. Gomos secos com impregnação de frutos vermelhos (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm})



Figura 38. Gomos secos com impregnação de frutos vermelhos (imersão 5 min P_{atm} + 50 mbar, 10 min)

Nestes ensaios de impregnação não foi feita cinética de secagem. Mas os valores de a_w obtidos indicam contudo que a secagem foi levada ao extremo e que o tempo de secagem podia ter sido menor. Neste contexto foi realizado um novo ensaio mas desta vez apenas com a condição 1 (50 mbar, 10 min + 10 min P_{atm}) e o uso de gomos frescos, visto que foram mais aceitáveis em termos de eficiência do processo. Neste ensaio, para os gomos absorverem maior quantidade de sumo de frutos vermelhos acrescentou-se ao sumo (100 ml) 20 g de sacarose e por análise da fig.39 concluiu-se que a adição desta quantidade de sacarose revelou vantagens em termos de rapidez do processo de secagem em relação ao uso do sumo sem sacarose. Uma concentração de sacarose superior não seria muito benéfica, pois segundo um estudo realizado por Borin e co-autores, quanto mais sacarose se aplica menor é a qualidade do sabor e da aparência.(68) Também por análise da fig.39 concluiu-se que os gomos sem pré-tratamento secaram mais rápido em relação a todos os gomos com pré-tratamento.

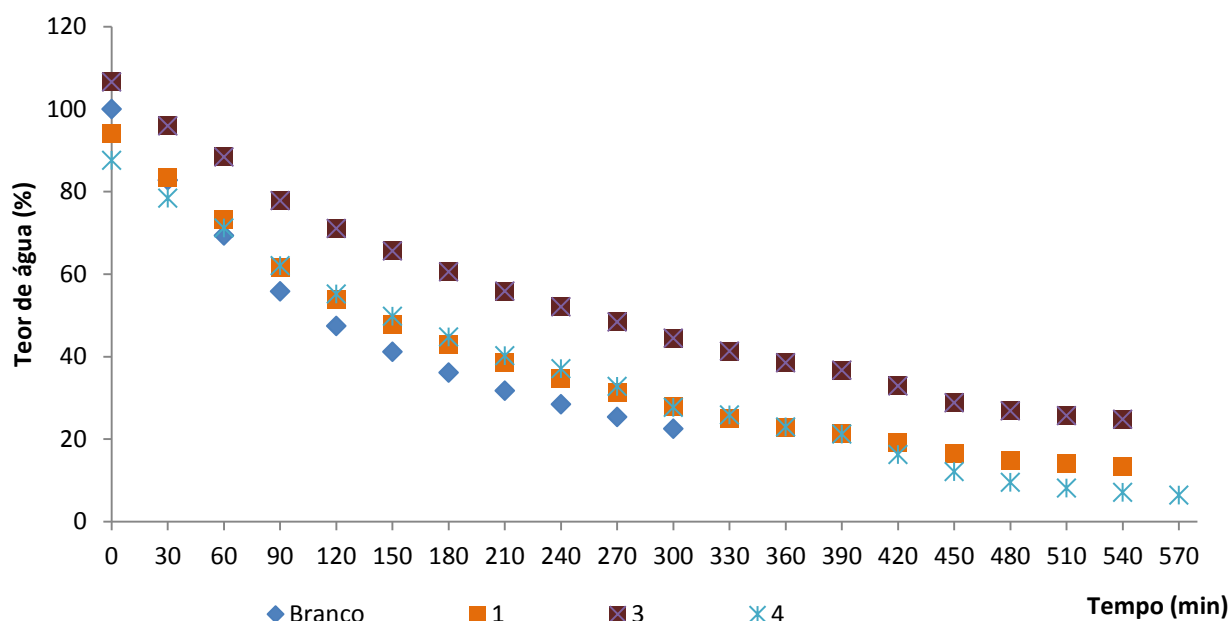


Figura 39. Teor de água (%) ao longo do tempo em gomos sem pré-tratamento e em gomos impregnados com sumo de laranja e sumo de frutos vermelhos (branco: gomos sem tratamento; 1: gomos frescos I – L – E; 3: gomos frescos I – FV – E; 4: gomos frescos I – FV – E + 20 g de sacarose)

Nas figs.40, 41,42 e 43 podem visualizar-se as diferentes amostras. Apesar do uso da sacarose acelerar o processo de secagem, não se obteve uma maior absorção de sumo de frutos vermelhos, como se pode observar na fig.43.

A fig.41 realça bem a ideia que o sumo de laranja funciona como um agente anti-escurecimento. Por análise da tabela 8 verificou-se que os gomos impregnados com sumo de frutos vermelhos e sumo de frutos vermelhos com 20 g de sacarose apresentaram menores valores de a_w . Dentro destes, os gomos que foram impregnados com sumo de frutos vermelhos com 20 g de sacarose apresentaram menos valor de a_w , isto indica que a sacarose faz diminuir um pouco a a_w .



Figura 40. Gomos sem tratamento



Figura 41. Gomos frescos com impregnação de sumo de laranja



Figura 42. Gomos frescos com impregnação de frutos vermelhos



Figura 43. Gomos frescos com impregnação de frutos vermelhos (mais sacarose)

Tabela 8. Valores de atividade da água de amostras sem tratamento e impregnadas (\pm desvio padrão)

Amostras	a_w
Gomos E	$0,510 \pm 0,012$
Gomos I – L	$0,550 \pm 0,014$
Gomos I – FV	$0,490 \pm 0,009$
Gomos I – FV (20 g sacarose)	$0,475 \pm 0,006$

Pode-se concluir que a impregnação a partir de gomos frescos com frutos vermelhos produz um produto apelativo em relação à cor, tendo contudo de ser tido em conta o custo energético.

6. Efeito da impregnação a vácuo com antioxidantes combinando com micro-ondas e estufa-5

Para perceber a influência da impregnação combinada com micro-ondas e estufa realizaram-se ensaios em cubos e gomos. A escolha de cubos, neste caso, foi para tentar garantir uma maior homogeneidade na impregnação das amostras. As amostras secas obtidas foram muito pequenas e pouco atrativas. O aspeto dos cubos secos que foram submetidos a diferentes pré-tratamentos pode ser visualizado nas figs.44, 45, 46, 47 e 48.



Figura 44. Cubos com tratamento micro-ondas



Figura45. Cubos com impregnação de frutos vermelhos



Figura 46. Cubos com impregnação de sumo de laranja



Figura47. Cubos com impregnação de frutos vermelhos e micro-ondas



Figura 48. Cubos com impregnação de sumo de laranja e micro-ondas

A fig.44 mostrou que os cubos de maçã submetidos apenas a micro-ondas antes da secagem escurecem ligeiramente, sendo o aspeto pouco apelativo. O uso da combinação do micro-ondas e impregnação melhora o aspeto final dos cubos. Por análise da tabela 9 verificou-se que todos os valores de a_w das várias amostras foram aceitáveis, verificando-se um aumento de a_w aquando do uso do micro-ondas.

Tabela 9. Valores de atividade da água de cubos submetidos a diferentes tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	a_w
Cubos MO – E	$0,500 \pm 0,012$
Cubos I – L – E	$0,520 \pm 0,011$
Cubos I – L – MO – E	$0,535 \pm 0,009$
Cubos I – FV – E	$0,505 \pm 0,006$
Cubos I – FV – MO – E	$0,510 \pm 0,007$

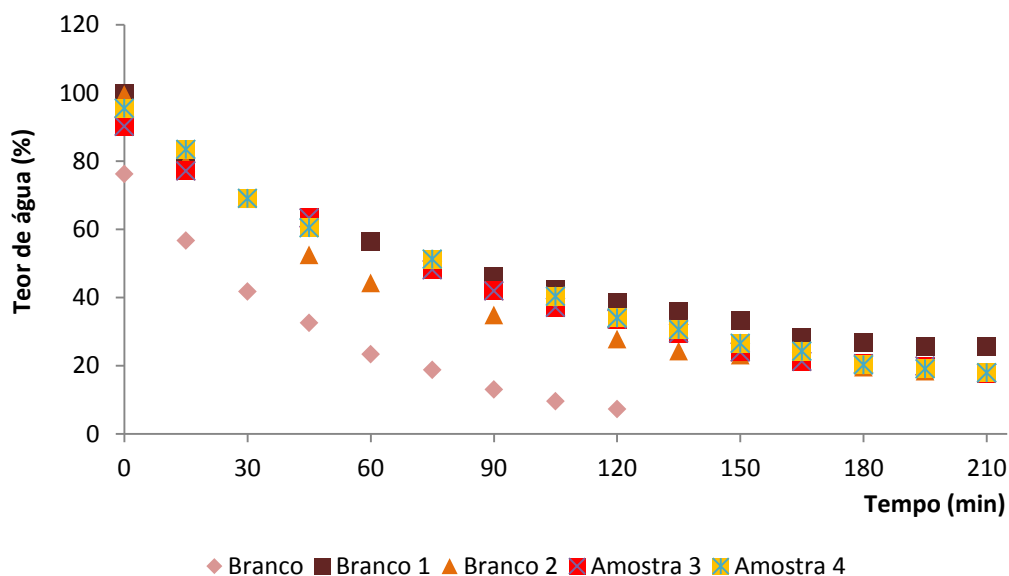


Figura 49. Teor de água (%) de cubos de maçã em função do tempo (Branco: MO – E; Branco 1: I – FV – E; Branco 2: I – L – E; Amostra 3: I – FV – MO – E; Amostra 4: I – L – MO – E)

Por análise de fig.49 verificou-se que a velocidade de secagem foi a seguinte: cubos submetidos ao micro-ondas e estufa, sem impregnação > impregnação de sumo de laranja + estufa > impregnação de sumo de laranja + micro-ondas + estufa > impregnação de sumo de frutos vermelhos + micro-ondas + estufa > impregnação de sumo de frutos vermelhos + estufa. Por análise destes resultados concluiu-se que o micro-ondas acelerou o processo de secagem comparativamente ao uso de impregnação + estufa, exceto no sumo

de laranja, isto pode ser explicado pelas características do sumo aliadas à dimensão da amostra. Na experiência com gomos, pela análise da fig.50 verificou-se o mesmo em relação ao ensaio com cubos de maçã, exceto quando se recorreu à impregnação de sumo de laranja. Neste ensaio a impregnação de sumo de laranja com micro-ondas e estufa garantiu uma maior rapidez de secagem do que quando se usou impregnação de sumo de laranja + estufa, isto era o esperado já que o micro-ondas como pré-tratamento tem tendência para acelerar o processo de secagem. O aspeto dos gomos pode ser visualizado nas figs. 51,52, 53,54 e 55. O uso da combinação do micro-ondas e impregnação com sumo de frutos vermelhos tornou os gomos mais escuros do que usando apenas impregnação seguida de secagem, pelo que os gomos que foram impregnados com sumo de frutos vermelhos e submetidos a estufa ficaram com um aspeto mais atrativo do que os gomos que também tiveram como tratamento o micro-ondas. Porém com o sumo de laranja, a diferença visual entre estes dois processos não foi muito perceptível, sendo o aspeto atrativo nas duas situações.

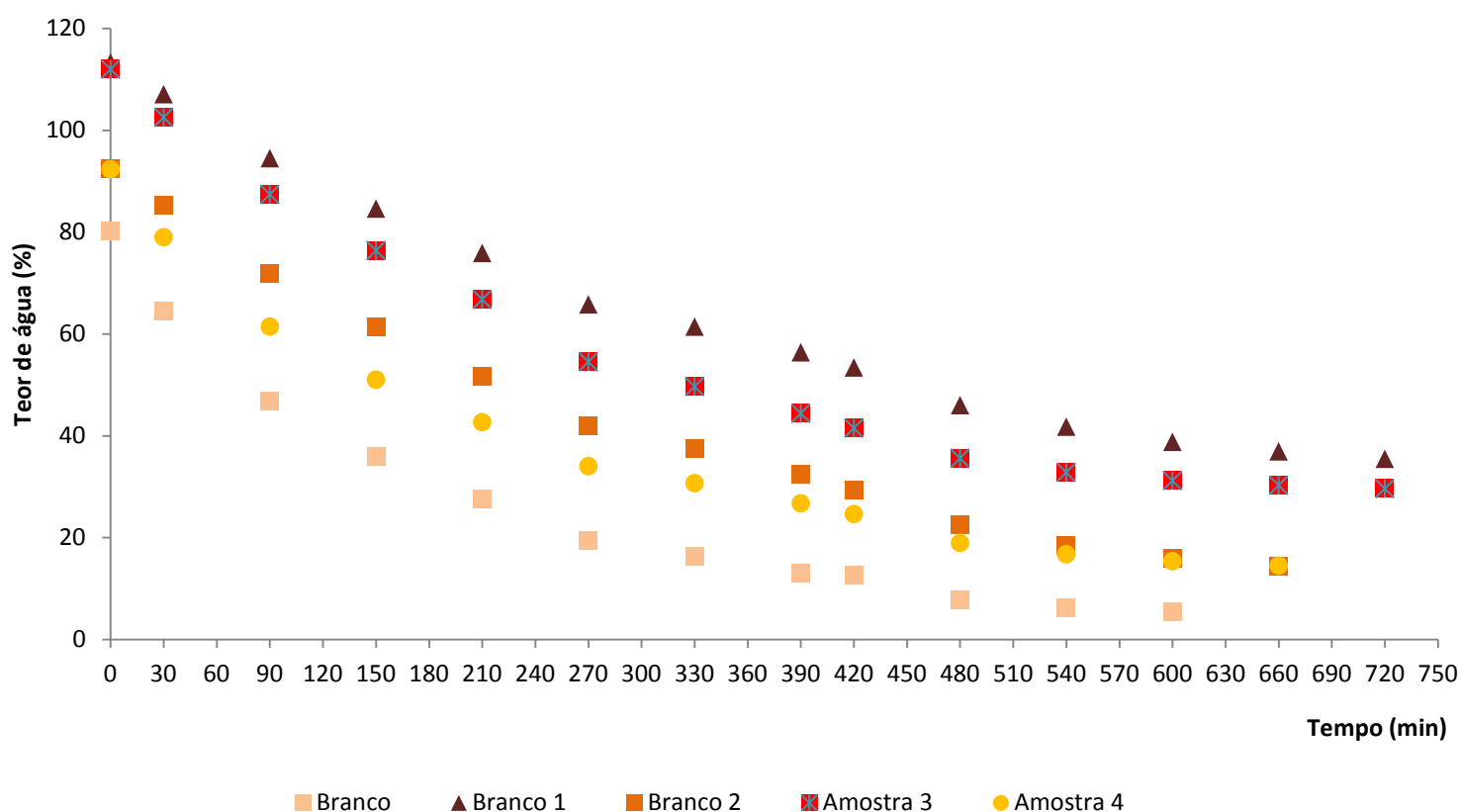


Figura 50. Teor de água (%) em gomos em função do tempo (Branco: MO – E; Branco 1: I – FV – E; Branco 2: I – L – E; Amostra 3: I – FV – MO – E; Amostra 4: I – L – MO – E)



Figura 51. Gomos com micro-ondas



Figura 52. Gomos com impregnação de frutos vermelhos



Figura 53. Gomos com impregnação de sumo de laranja



Figura 54. Gomos com impregnação de frutos vermelhos e micro-ondas



Figura 55. Gomos com impregnação de sumo de laranja e micro-ondas

Por análise da tabela 10 verificou-se que os valores de a_w foram aceitáveis, verificando-se tal como no caso dos cubos, um ligeiro aumento de a_w aquando do uso do micro-ondas. Todos os gomos foram secos simultaneamente nas mesmas condições, é curioso verificar que as amostras impregnadas com sumo de frutos vermelhos apresentaram atividades de água inferiores. Isto indica que perderam mais água o que pode contribuir ao aspeto mais escuro destas amostras.

Tabela 10. Valores de atividade da água em gomos submetidos a diferentes tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	a_w
Gomos MO – E	$0,450 \pm 0,010$
Gomos I – L – E	$0,502 \pm 0,012$
Gomos I – L – MO – E	$0,515 \pm 0,007$
Gomos I – FV – E	$0,471 \pm 0,008$
Gomos I – FV – MO – E	$0,480 \pm 0,006$

7. Imersão / impregnação a vácuo de sumo de frutos vermelhos em gomos já secos – 6 e 7

Gomos secos com a_w de 0,484 foram impregnados com o sumo no seu estado natural ($^{\circ}\text{Brix} = 12,4$) a duas condições diferentes: 1) 50 mbar durante 10 min + 10 min P_{atm} e 2) a 50 mbar durante 10 min. Os gomos reidrataram, o seu aspeto pode ser visualizado na fig. 56. A a_w destes gomos teve um valor de 0,9, o que significa que este produto propiciará o crescimento de microrganismos. Foi evidente que o sumo teria de ser concentrado para diminuir a sua a_w .



Figura 56. Gomos secos IFV

Para concentrar o sumo recorreu-se a um evaporador rotativo a 40°C , como se pode ver na fig.57. O sumo foi concentrado de 610 mL para 65 mL, com $74,5^{\circ}\text{Brix}$.



Figura 57. Evaporador

Após a concentração do sumo realizaram-se dois ensaios distintos: 1) os gomos secos foram submetidos à imersão (2 e 4 min) e posterior HHP; 2) gomos secos foram submetidos a impregnação a 50 mbar a tempos diferentes (2, 5 e 10 min).

Na experiência de imersão e posterior HHP (7) o aspeto dos gomos foi apelativo, como se pode ver nas figs.58 e 59. Na experiência com impregnação (6) o aspeto também foi apelativo e os gomos podem ser visualizados nas figs.60, 61 e 62.

O uso do sumo concentrado levou a uma melhoria no parâmetro de a_w como se pode ver na tabela 11 e 12. Também por análise das tabelas foi verificado que a variação do tempo não levou a alterações significativas na absorção de líquido nem em termos dos valores de a_w .



Figura 58. Gomos secos com imersão 2 min de frutos vermelhos e posterior HHP 100 MPa (5min)



Figura 59. Gomos secos com imersão 4 min de frutos vermelhos e posterior HHP 100 MPa (5min)

Tabela 11. Gomos com imersão e posterior alta pressão hidrostática (\pm desvio padrão)

	2 min	4 min	a_w
Peso 5 gomos	4,336	3,377	$0,484 \pm 0,004$
Após imersão	6,63	5,416	$0,629 \pm 0,002$; $0,621 \pm 0,003$
Ganho	2,294	2,039	
Após HHP			$0,608 \pm 0,001$; $0,619 \pm 0,002$

Tabela 12. Gomos com impregnação a vácuo (\pm desvio padrão)

	2 min P (50 mbar)	5 min P (50 mbar)	10 min P (50 mbar)	a_w
Peso 2 gomos	1,076	1,337	1,302	$0,484 \pm 0,004$
Após impregnação	1,845	2,342	2,041	$0,644 \pm 0,002$; $0,645 \pm 0,003$; $0,629 \pm 0,003$
Ganho	0,769	1,005	0,739	

**Figura 60.** Gomos secos com impregnação 2 min de P 50 mbar**Figura 61.** Gomos secos com impregnação 5 min de P 50 mbar



Figura 62. Gomos secos com impregnação 10 min de P 50 mbar

Os gomos apresentaram-se inicialmente “peganhentos” como se pode observar nas figuras anteriores. Os gomos submetidos a HHP apresentaram-se com uma cor mais homogénea e aparentemente com melhor absorção do sumo. O aspeto peganhento acabou por melhorar passados alguns dias, nos quais as amostras acabaram por absorber o excedente de sumo que tinha ficado na superfície.

8. Conclusões em relação à atividade da água

A a_w diminui com a remoção de humidade que ocorre durante a secagem de frutas. Por análise da tabela 13 pode-se concluir que os valores da a_w dos mais variados processos de secagem estão numa gama em que é praticamente improvável o crescimento microbiano, já que os fungos não vão crescer a um nível de $a_w < 0,6$. (24) Apenas nos processos de impregnação e imersão com HHP aplicados diretamente nos gomos secos se verificou uma $a_w < 0,65$, porém o risco de crescimento de microrganismos permanece mínimo. De maneira geral os resultados de a_w foram aceitáveis, assim há uma maior prevenção no desenvolvimento de microrganismos e nas reações enzimáticas. Apesar das amostras secas manifestarem um nível de a_w baixo que permite um armazenamento seguro, o embalamento destas amostras deve ser resistente à humidade e capaz de impedir a transferência de oxigénio, evitando a reidratação e formação de sabores desagradáveis (oxidação).(69)

Tabela 13. Valores de atividade da água de gomos de maçã submetidos a diferentes pré – tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	a_w
Gomos E	$0,429 \pm 0,002$
Gomos MO – E	$0,450 \pm 0,010$
Gomos I – L – E	$0,502 \pm 0,012$
Gomos secos com I – L – E	$0,417 \pm 0,006$
Gomos I – L – MO – E	$0,515 \pm 0,007$
Gomos I – FV – E	$0,471 \pm 0,008$
Gomos secos com I – FV – E	$0,456 \pm 0,006$
Gomos I – FV – MO – E	$0,480 \pm 0,006$
Gomos HHP a 100 MPa (5 min)	$0,494 \pm 0,001$
Gomos HHP a 100 MPa (10 min)	$0,493 \pm 0,001$
Gomos HHP a 100 MPa (15 min)	$0,5145 \pm 0,001$
Gomos HHP a 250 MPa (5 min)	$0,540 \pm 0,003$
Gomos HHP a 400 MPa (5 min)	$0,530 \pm 0,002$
Gomos I – FV (20 g sacarose)	$0,475 \pm 0,006$
Gomos secos com I – FV, posterior HHP a 100 MPa (5 min) e E	$0,500 \pm 0,002$
Gomos secos com I – FV, posterior HHP a 250 MPa (5 min) e E	$0,513 \pm 0,003$
Gomos secos com I – FV, posterior HHP a 400 MPa (5 min) e E	$0,508 \pm 0,006$
Gomos secos com posterior I – FV concentrado	$0,639 \pm 0,002$
Gomos secos com posterior imersão em FV concentrado e HHP a 100 MPa (5 min)	$0,614 \pm 0,001$

9. Textura

Por análise da tabela 14 concluiu-se que os gomos sem pré-tratamento (E) apresentaram a maior resistência à rutura, e por consequência também se pode deduzir que apresentariam os maiores valores de mastigabilidade, já que esta propriedade resulta do produto da dureza, elasticidade e coesividade.(9) Estas propriedades não foram possíveis estudar, uma vez que as áreas disponíveis e a altura em cada gomo diferiram muito em função dos vários pré-tratamentos.

Relativamente aos vários pré-tratamentos revelaram-se benéficos na diminuição da dureza. A impregnação de gomos com sumo de frutos vermelhos levou aos menores valores de resistência à rutura.

Tabela 14. Medição das médias de força máxima (N) para gomos submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	Resistencia à rutura (N)
E	9,74 \pm 0,557
MO	6,51 \pm 1,365
ILE	6,08 \pm 0,603
ILMOE	7,53 \pm 0,979
IFVE	3,35 \pm 0,341
IFVMOE	4,01 \pm 1,090

10. Fenóis totais nas diferentes amostras

Num estudo sobre uvas realizado por Figueiredo-González relatou-se que o conteúdo de compostos fenólicos aumentou significativamente durante o processo de secagem e por consequência houve um aumento da atividade antioxidante.(70) Neste estudo a tendência observada foi um efeito contrário apesar de existirem algumas exceções. Inicialmente os fenóis foram analisados em gomos frescos com liofilização para uma posterior comparação com as outras amostras que foram submetidas a secagem. Os resultados podem ser observados nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15. Médias do teor de fenóis em amostras armazenadas por 3 meses em função de vários pré-tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	Fenóis totais (mg ácido gálico/100g peso seco)
Gomos liofilizados	512,4 \pm 0,008
Gomos E -1	965,1 \pm 0,009
Gomos I – FV – E - 4	677,1 \pm 0,009
Gomos frescos HHP 100 Mpa (5 min) – 2	673,3 \pm 0,002
Gomos secos I – FV – E - 4 a	598,6 \pm 0,015
Gomos frescos HHP 100 Mpa (10 min) - 2	580,3 \pm 0,014
Gomos frescos HHP 100 Mpa (15 min) - 2	514,9 \pm 0,009
Gomos I – L - E - 4	479,3 \pm 0,018
Gomos secos I –L – E - 4 a	478,9 \pm 0,008

Tabela 16. Médias do teor de fenóis em amostras de maçã fresca e em amostras armazenadas por poucos dias em função de vários pré-tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	Fenóis totais (mg ácido gálico/100g peso seco)
Gomos liofilizados	512,4 \pm 0,008
Gomos E - 1	371,0 \pm 0,016
Gomos MO – E - 3	269,8 \pm 0,012
Gomos I – FV – E - 4	474,2 \pm 0,014
Gomos I – FV – MO – E - 5	271,8 \pm 0,015
Gomos I – L – E - 4	243,0 \pm 0,013
Gomos I – L – MO – E - 5	240,4 \pm 0,007
Gomos secos I – FV - 6	319,4 \pm 0,008
Gomos secos + imersão FV + HHP 100 Mpa (5min) – 7	322,9 \pm 0,009
Gomos HHP 100 (5min) – 2	179,6 \pm 0,030
Gomos HHP 250 (5min) - 2	140,2 \pm 0,028
Gomos HHP 400 (min) - 2	123,0 \pm 0,020

O valor de fenóis em gomos frescos com liofilização foi de 512,4 mg ácido gálico/ 100 g peso seco o que corresponderia a 78,8 mg ácido gálico/ 100 g de peso fresco, valor este que está de acordo com o estudo realizado por Skrede e co-autores, pois nesse estudo é afirmado que na literatura os valores de compostos fenólicos variam de 66 a 535 (mg de ácido gálico/ 100g).(71) Por análise da tabela 15 e 16 verifica-se diferenças significativas nos valores de fenóis totais, sendo os valores da tabela 15 os mais elevados. Segundo

Kevers e co-autores, um tempo de armazenamento de 3 meses de maçã fresca pode levar a um aumento dos compostos fenólicos, isto evidencia que os gomos que foram armazenados (tabela 15) possivelmente quando ainda estavam na sua forma fresca estiveram muito tempo armazenados. Contrariamente na tabela 16 obtiveram-se valores mais baixos de fenóis, o que à partida será explicado pelo período mínimo de armazenamento das maçãs ainda no estado fresco.(13)

Por análise da tabela 15 verificou-se que a utilização de amostras frescas sem tratamento (1) e amostras frescas com impregnação (4) levaram a um maior valor de fenóis totais, contrariamente o uso de amostras secas com posterior impregnação e secagem (4 a) e o uso de HHP (2) como pré- tratamento de secagem baixaram os valores de fenóis.

Ao aplicar HHP a 100 MPa (2) e a tempos diferentes há um aumento do escurecimento em função do aumento do tempo, em termos de fenóis totais verifica-se uma diminuição deste teor com o aumento do tempo, pois o maior escurecimento implica a maior polimerização não enzimática de quinonas a melanoidinas, logo vai haver menos fenóis extratáveis. Por análise da tabela 16, o mesmo se verifica quando se aplicam pressões de 100, 250 e 400 MPa (5min).(27)

Por análise da tabela 16 verificou-se que a utilização de amostras frescas sem tratamento (1) levou aos maiores valores de fenóis totais. Não muito longe destes valores estiveram as amostras frescas que foram impregnadas com sumo de frutos vermelhos (4) e as amostras secas que foram submetidas a posterior impregnação (6) e a posterior imersão seguida de HHP a 100 MPa, 5 min (7). Os restantes valores foram mais baixos, o que pode ter sido derivado por um menor teor de fenóis totais presentes nas amostras frescas usadas. Os menores valores de fenóis quando se usou o micro-ondas (3) como único pré-tratamento e combinado com impregnação (5), segundo um estudo sobre citrinos realizado por Ghanem e co-autores, podem ser devidos à aplicação do micro-ondas como pré-tratamento reduzir a capacidade de retenção de compostos fenólicos, ocasionando a clivagem dos ácidos fenólicos devido ao efeito de aquecimento causado pelas radiações electromagnéticas.(72)

Posteriormente foram realizados ensaios em cubos de maçã e a análise dos fenóis pode ser vista na tabela 17.

Tabela 17. Médias do teor de fenóis em cubos de maçã submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	Fenóis totais (mg ácido gálico/100g)
Cubos MO – E - 3	570,9 \pm 0,022
Cubos I – L – MO – E - 5	676,7 \pm 0,024
Cubos I – FV – MO – E - 5	707,6 \pm 0,011
Cubos I – FV – E - 4	336,6 \pm 0,006
Cubos I – L – E - 4	252,1 \pm 0,007

O teor de fenóis totais em cubos que foram submetidos a impregnação com sumo de laranja e sumo de frutos vermelhos juntamente com o micro-ondas (**5**) apresentaram maior conteúdo fenólico do que os cubos que foram submetidos apenas a impregnação com os dois tipos de sumo (**4**), o que contraria o estudo realizado por Ghanem e co-autores. (72) Como os resultados encontrados não foram os esperados, será necessário mais estudo em torno dos fenóis.

11. Ácido ascórbico nas diferentes amostras

O teor de ácido ascórbico (mg ácido ascórbico/ 100g), segundo Kevers e co-autores, varia muito de maçã para maçã, sendo a maçã Golden uma das espécies que pode atingir o maior valor, rondando os 32,8 mg ácido ascórbico/ 100g no máximo.(13) Os resultados do teor de ácido ascórbico em maçã fresca e seca a diferentes pré-tratamentos podem ser visualizados na tabela 18 e 19.

Tabela 18. Médias do teor de ácido ascórbico em gomos de maçã submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	Ácido ascórbico (mg ácido ascórbico / 100g peso seco)
Gomos E – 1	35,1 \pm 0,023
Gomos MO – E - 3	17,9 \pm 0,026
Gomos I – L – E - 4	38,9 \pm 0,020
Gomos I – L – MO – E - 5	27,2 \pm 0,062
Gomos I – FV – E - 4	23,2 \pm 0,030
Gomos I – FV – MO – E - 5	17,9 \pm 0,012
Gomos secos I – FV - 6	49,3 \pm 0,018
Gomos secos + imersão FV + HHP 100 Mpa (5 min) - 7	62,4 \pm 0,020

Tabela 19. Médias do teor de ácido ascórbico em cubos de maçã submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	Ácido ascórbico (mg ácido ascórbico/100g peso seco)
Cubos MO – E - 3	29,2 \pm 0,016
Cubos I – L – MO – E - 5	41,6 \pm 0,015
Cubos I – FV – MO – E - 5	54,7 \pm 0,012
Cubos I – FV – E - 4	79,5 \pm 0,013
Cubos I – L – E - 4	76,9 \pm 0,014
Amostra liofilizada	159 \pm 0,020

O teor de ácido ascórbico em maçã fresca (23,9 mg ácido ascórbico/ 100 g peso fresco) está de acordo com o estudo realizado por Kevers e co-autores, poder-se-ia esperar que a maçã seca tivesse mais ácido ascórbico por efeito da concentração, porém segundo o mesmo estudo tal não acontece, pois ao longo do processo de secagem perde-se grande quantidade de vitamina C.(13) Nas tabelas 18 e 19 podem ser visualizados os valores de ácido ascórbico em gomos e cubos de maçã submetidos a diferentes pré-tratamentos. Todos os valores obtidos foram inferiores ao valor de ácido ascórbico determinado na maçã fresca liofilizada (159,0 mg ácido ascórbico/ 100 g peso seco).

O tratamento térmico tem um efeito nefasto no teor de ácido ascórbico, com especial relevância para o tratamento com micro-ondas. Verifica-se que as amostras pré - tratadas unicamente com micro-ondas (**3**) apresentaram uma perda de 89% quando comparadas com o valor as amostras liofilizadas. Isto está de acordo com o estudo sobre passas de uva realizado por Carranza- Concha (44). O efeito do micro-ondas sobre a vitamina C também se observa nas amostras (gomos e cubos) com impregnação com os sumos e submetidas a micro-ondas e estufa (**5**). No caso da impregnação com o sumo de frutos vermelhos a perda é igual, enquanto na amostra com sumo de laranja a perda é de 83%. As amostras secas em estufa perdem 78% do ácido ascórbico (**1**). Com as amostras que foram impregnadas com os sumos e submetidas apenas à estufa (**4**) a perda é de 76% para o sumo de laranja e de 85% para o sumo de frutos vermelhos. É de salientar que o sumo de laranja parece ter melhor comportamento que o sumo de frutos vermelhos em relação a perda de vitamina C. Relativamente ao uso de gomos secos, com a imersão e posterior HHP (**7**) obteve-se menor

perda de ácido ascórbico (61%) do que com o uso de impregnação a vácuo (6) (69%). A impregnação posterior à secagem deve manter o ácido ascórbico presente no sumo concentrado de frutos vermelhos. Eventualmente o uso de um sumo de laranja concentrado podia levar a uma maior conservação da vitamina C.

Sabendo que o ácido ascórbico é uma vitamina termolábil e facilmente destruída durante o processamento e armazenamento, ficam explicados os resultados obtidos.(30)

12. Açúcares totais nas diferentes amostras

O teor de açúcares totais, segundo um estudo realizado por Wu e co-autores, varia muito de maçã para maçã e nesse mesmo estudo encontrou-se um teor de açúcares de 113,8 (g/l) para a maçã Golden Delicious.(20) Neste estudo os resultados são obtidos em mg/g, o que é equivalente a g/l. Para possíveis comparações determinaram-se os açúcares para a maçã fresca liofilizada. Este valor foi de 698 mg/ g peso secos, em fresco equivale a 104,7 mg/g peso fresco, o que vai de encontro ao estudo realizado por Wu e co-autores.(20) Relativamente às amostras secas, era de esperar que tivessem um maior valor de açúcares, uma vez que as maçãs secas podem ser até 5 vezes mais calóricas do que as maçãs frescas. (21) Os resultados podem ser visualizados na tabela 20.

Tabela 20. Médias do teor de açúcares em gomos de maçã submetidos a diferentes pré-tratamentos (\pm desvio padrão)

Amostras	Açúcares totais (mg glucose / g peso seco)
Gomos liofilizados	698 \pm 0,045
Gomos E – 1	480,0 \pm 0,014
Gomos MO – E – 3	660,0 \pm 0,027
Gomos I – L – E – 4	605,0 \pm 0,031
Gomos I – L – MO – E - 5	660,0 \pm 0,060
Gomos I – FV – E - 4	541,0 \pm 0,021
Gomos I – FV – MO – E - 5	520,0 \pm 0,058
Gomos secos I – FV - 6	492,8 \pm 0,013
Gomos secos + imersão FV + HHP 100 Mpa (5 min) – 7	580,0 \pm 0,003

Os tratamentos térmicos diminuíram de forma diferente os açúcares, existindo contudo uma correlação entre esta diminuição e o tempo de aquecimento. As amostras que sofreram uma secagem mais longa apresentaram genericamente valores mais baixos de açúcares.

Contrariamente ao reportado por Carranza – Concha (44), verificou-se que o tratamento por micro-ondas é o que provoca uma menor perda de açúcares totais. De fato este pré-tratamento encurta o tempo de secagem. Todavia os gomos impregnados com sumo de frutos vermelhos apresentaram valores diminuídos de açúcares totais. Assim serão necessários mais estudos para perceber o porquê.

IV. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

A aplicação da secagem convectiva, recorrendo à estufa, mostrou ser um método eficaz de secagem da maçã das mais diversas maneiras (gomos, inteira, cubos). Este método tornou-se mais rápido quando se usou como pré-tratamento o micro-ondas ou a combinação do micro-ondas com a impregnação a vácuo de sumos.

O uso de pré-tratamentos de secagem trouxe alterações a nível macroscópico. No caso da HHP, à medida que aumentou o seu valor ou o tempo de tratamento, maior foi o escurecimento e mais acentuado foi o encolhimento. Este escurecimento foi devido à ação da PPO, apesar de haver uma diminuição da sua atividade com o processo de secagem ela não se torna totalmente inativa. Por outro lado, com o uso de impregnação a vácuo de sumos o escurecimento foi minimizado, uma vez que os sumos usados funcionaram como antioxidantes e minimizou-se o encolhimento.

O teor de ácido ascórbico, fenóis e açúcares foi influenciado pelos vários pré-tratamentos. No caso de HHP a 100 MPa a tempos diferentes observou-se uma diminuição de fenóis consoante o aumento do tempo de HHP, o que implica que quanto maior o tempo de HHP mais escuras ficam as amostras, logo menos fenóis extratáveis.

O uso do micro-ondas diminui o ácido ascórbico, mas desativa a PPO.

As diversas amostras secas, provenientes das várias experiências, apresentaram de forma geral valores de a_w suficientemente baixos para garantir a prevenção do desenvolvimento de microrganismos e de reações químicas e enzimáticas indesejáveis.

Os vários pré-tratamentos aplicados em gomos levaram a uma diminuição da resistência à rutura quando comparados com a amostra seca por estufa, o que melhoraria a sua mastigabilidade.

O processo com resultados mais viáveis englobou o uso de gomos secos com posterior impregnação. Este processo levou a um maior controlo da a_w , e a menores perdas de vitamina C. A aplicação da HHP melhora a impregnação, o seu uso deve ser contudo ponderado em função dos custos de produção.

O trabalho desenvolvido implica uma série de investigações futuras de modo a produzir-se um tipo de produto comercialmente bem aceite e de valor acrescido.

Para o descasque seria benéfico o desenvolvimento tecnológico, pois o descasque manual pode levar muito tempo levando à oxidação da maçã.

Seria interessante continuar com estes estudos, focados nos resultados obtidos mas com mais variáveis controláveis, tais como o uso de um secador industrial com remoção de ar para aumentar a velocidade de secagem, o que diminuirá as perdas de vitamina C e açúcares, diminuindo o acastanhamento. Seria também interessante estudar o uso do sumo de laranja concentrado, visto o seu melhor comportamento em comparação com o sumo de frutos vermelhos e estudar este último para encontrar explicações aos resultados não esperados de perda de ácido ascórbico e açúcares, visto o produto impregnado com frutos vermelhos ter um aspeto apetecível.

Outra sugestão seria a realização de análises microbiológicas ao longo do armazenamento.

V. Referências bibliográficas

1. Sosa N, Salvatori DM, Schebor C. Physico-Chemical and Mechanical Properties of Apple Disks Subjected to Osmotic Dehydration and Different Drying Methods. *Food and Bioprocess Technology*. 2010;5(5):1790-802.
2. Yucel U. Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rate of selected fruits and vegetables. : Middle East Technical University 2006.
3. Souza AS, Borges SV, Magalhães NF, Vaz H, Cereda MP, Daiuto ER. Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. *Ciência e Tecnologia de alimentos*. 2009;29(2):291-4.
4. Vasques AR, Bertoli SL, Curto Valle R, Borges Valle JA. Avaliação sensorial e determinação de vida-de-prateleira de maçãs desidratadas. *Ciência e Tecnologia de alimentos*. 2006;26(4):759-65.
5. Lewicki PP, Jakubczyk E. Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *Journal of Food Engineering*. 2004;64(3):307-14.
6. Mandala IG, Anagnostaras EF, Oikonomou CK. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*. 2005;69(3):307-16.
7. Cuccurullo G, Giordano L, Albanese D, Cinquanta L, Di Matteo M. Infrared thermography assisted control for apples microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 2012;112(4):319-25.
8. Raupp DS, Gardingo JR, Schebeski LS, Amadeu CA, Borsato AV. Processamento de tomate seco de diferentes cultivares. *Acta Amazonica*. 2009;39(2):415-22.
9. Guiné R. Secagem de Peras Da Tradição à Ciência. CI&DETS ed. Viseu2010. 214 p.
10. Huang L-l, Zhang M, Wang L-p, Mujumdar AS, Sun D-f. Influence of combination drying methods on composition, texture, aroma and microstructure of apple slices. *LWT - Food Science and Technology*. 2012;47(1):183-8.
11. Madamba PS, Driscoll RH, Buckle KA. The Thin- layer Drying Characteristics of Garlic Slices. *Journal of Food Engineering*. 1996.
12. Vega-Gálvez A, Ah-Hen K, Chacana M, Vergara J, Martínez-Monzó J, García-Segovia P, et al. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chemistry*. 2012;132(1):51-9.

13. Kevers C, Pincemail J, Tabart J, Defraigne JO, Dommes. Influence of Cultivar, Harvest Time, Storage Conditions, and Peeling on the Antioxidant Capacity and Phenolic and Ascorbic Acid Contents of Apples and Pears. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(11):165–6171.
14. Saraiva SH, Junqueira MS, Ferreira A, Ferreira MFS, Peña WEL, L.C., , Teixeira LJQ. Estudo do Processo de secagem de maçã. Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba; Universidade Federal do Espírito Santo.
15. Assunção A, Oliveira M, Pereira OM. Maçã - Variedades e Produções. Portugal: Direção Regional de Agricultura de Entre-Douro e Minho. 2000:17-29, 55.
16. Jakopic J, Stampar F, Veberic R. The influence of exposure to light on the phenolic content of ‘Fuji’ apple. *Scientia Horticulturae*. 2009;123(2):234-9.
17. Pincemail J, Kevers C, Tabart J, Defraigne J-O, Dommes J. Cultivars, Culture Conditions, and Harvest Time Influence Phenolic and Ascorbic Acid Contents and Antioxidant Capacity of Strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Journal of Food Science*. 2012;77:205: 10.
18. Wojdylo A, Oszmianski J, Laskowski P. Polyphenolic compounds and antioxidant activity of new and old apple varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56:6520 - 30.
19. Łata B, Trampczynska A, Paczesna J. Cultivar variation in apple peel and whole fruit phenolic composition. *Scientia Horticulturae*. 2009;121(2):176-81.
20. Wu J, Gao H, Zhao L, Liao X, Chen F, Wang Z, et al. Chemical compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chemistry*. 2007;103(1):88-93.
21. Hui YH. Food Biochemistry and Food Processing. USA: Blackwell Publishing. 2006:71-8
22. Zhang M, Tang J, Mujumdar AS, Wang S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*. 2006;17(10):524-34.
23. Krokida MK, Karathanos VT, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*. 2003;59(4):391-403.
24. Celestino SMC. Princípios de Secagem de Alimentos. Planaltina2010 [cited 2010].
25. Karimi F, Rafiee S, Taheri-Garavand A, Karimi M. Optimization of an air drying process for *Artemisia absinthium* leaves using response surface and artificial neural network models. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2012;43(1):29-39.

26. Chow Y-N, Louarme L, Bonazzi C, Nicolas J, Billaud C. Apple polyphenoloxidase inactivation during heating in the presence of ascorbic acid and chlorogenic acid. *Food Chemistry*. 2011;129(3):761-7.
27. Queiroz C, Mendes Lopes ML, Fialho E, Valente- Mesquita VL. Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control. *Food Reviews International*. 2008;24(4):361-75.
28. Jaiswal V, DerMarderosian A, Porter JR. Anthocyanins and polyphenol oxidase from dried arils of pomegranate (*Punica granatum* L.). *Food Chemistry*. 2010;118(1):11-6.
29. Campos FP, Dosualdo GL, Cristianni M. Utilização da Tecnologia de Alta Pressão no Processamento de Alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2003;6(2):351-7.
30. Nuñez-Mancilla Y, Pérez-Won M, Uribe E, Vega-Gálvez A, Di Scala K. Osmotic dehydration under high hydrostatic pressure: Effects on antioxidant activity, total phenolics compounds, vitamin C and colour of strawberry (*Fragaria vesca*). *LWT - Food Science and Technology*. (0).
31. Le Page JF, Mirade PS, Daudin JD. Development of a device and method for the time-course estimation of low water fluxes and mean surface water activity of food products during ripening and storage. *Food Research International*. 2010;43(4):1180-6.
32. Chirife J, Buera MP. A critical review of some non-equilibrium situations and glass transitions on water activity values of food in the microbiological growth range. *Journal of Food Engineering*. 1995:531-52.
33. Sereno AM, Hubinger MD, Comesaña JF, Correa A. Prediction of water activity of osmotic solutions. *Journal of Food Engineering*. 2001;49(2-3):103-14.
34. Belitz HD, Grosch W, Schieberle P. Food Chemistry. 2009.
35. Moraga G, Talens P, Moraga MJ, Martínez-Navarrete N. Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices. *Journal of Food Engineering*. 2011;106(3):212-9.
36. Goyal RK, Kingsly ARP, Manikantan MR, Ilyas SM. Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. *Biosystems Engineering*. 2006;95(1):43-9.
37. Doymaz İ. Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of Amasya red apples. *Food and Bioproducts Processing*. 2010;88(2-3):124-32.
38. Harrison JA, Andress EL. Preserving food: Drying fruits and vegetables. University of Georgia cooperative extension service.
39. Yahya M. Gallalia, Yahya S. Abujnaah, Bannanib FK. Preservation of fruits and vegetables using solar drier: a comparative study of natural and solar drying, III; chemical

analysis and sensory evaluation data of the dried samples (grapes, figs, tomatoes and onions). *Renewable Energy*. 2000;19:203-12.

40. Yucel U, Alpas H, Bayindirli A. Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. *Journal of Food Engineering*. 2010;98(2):266-72.

41. Betoret E, Sentandreu E, Betoret N, Fito P. Homogenization pressures applied to citrus juice manufacturing. Functional properties and application. *Journal of Food Engineering*. 2012;111(1):28-33.

42. Betoret E, Sentandreu E, Betoret N, Codoñer-Franch P, Valls-Bellés V, Fito P. Technological development and functional properties of an apple snack rich in flavonoid from mandarin juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. (0).

43. Berteli MN, Marsaioli A. Evaluation of short cut pasta air dehydration assisted by microwaves as compared to the conventional drying process. *Journal of Food Engineering*. 2005;68(2):175-83.

44. Carranza-Concha J, Benlloch M, Camacho MM, Martínez-Navarrete N. Effects of drying and pretreatment on the nutritional and functional quality of raisins. *Food and Bioprocess Processing*. 2012;90(2):243-8.

45. Heredia A, Peinado I, Rosa E, Andrés A. Effect of osmotic pre-treatment and microwave heating on lycopene degradation and isomerization in cherry tomato. *Food Chemistry*. 2010;123(1):92-8.

46. Andrés A, Bilbao C, Fito P. Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration. *Journal of Food Engineering*. 2004;63(1):71-8.

47. Heredia A, Barrera C, Andrés A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. *Journal of Food Engineering*. 2007;80(1):111-8.

48. Contreras C, Martín-Esparza ME, Chiralt A, Martínez-Navarrete N. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*. 2008;88(1):55-64.

49. Orlandin A, Fontana RC, Sandri IG. Estudo de pré-tratamentos na desidratação de tomate-cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Brazilian Journal of Food Technology*. 2010;13(03):226-31.

50. Ferreira D, Silva J, Pinto G, Santos C, Delgadillo I, Coimbra M. Effect of sun-drying on microstructure and texture of S. Bartolomeu pears (*Pyrus communis* L.). *European food research and technology = Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung A*. 2008;226(6):1545-52.

51. Nunes C, Santos C, Pinto G, Silva S, Lopes-da-Silva JA, Saraiva JA, et al. Effects of ripening on microstructure and texture of “Ameixa d’Elvas” candied plums. *Food Chemistry*. 2009;115(3):1094-101.
52. Mabrouk SB, Benali E, Oueslati H. Experimental study and numerical modelling of drying characteristics of apple slices. *Food and Bioproducts Processing*. 2012;90(4):719-28.
53. González-Fésler M, Salvatori D, Gómez P, Alzamora SM. Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation. *Journal of Food Engineering*. 2008;87(3):323-32.
54. Pakowski Z, Adamski R. Formation of Underpressure in an Apple Cylinder during Convective Drying. *Drying Technology*. 2012;30(11-12):1238-46.
55. Esehaghbeygi A, Basiry M. Electrohydrodynamic (EHD) drying of tomato slices (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Food Engineering*. 2011;104(4):628-31.
56. Bilbao-Sáinz C, Andrés A, Chiralt A, Fito P. Microwaves phenomena during drying of apple cylinders. *Journal of Food Engineering*. 2006;74(1):160-7.
57. Supapvanich S, Pimsaga J, Srisujan P. Physicochemical changes in fresh-cut wax apple (*Syzygium samarangense* [Blume] Merrill & L.M. Perry) during storage. *Food Chemistry*. 2011;127(3):912-7.
58. Fernandes S, Ribeiro C, Raposo M, Morais R, Morais A. Polyphenol Oxidase Activity and Colour Changes of ‘Starking’ Apple Cubes Coated with Alginate and Dehydrated with Air. *Food and Nutrition Sciences*. 2011;2:451-7.
59. Castro SM, Saraiva JA, Lopes-da-Silva JA, Delgadillo I, Loey AV, Smout C, et al. Effect of thermal blanching and of high pressure treatments on sweet green and red bell pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*. 2008;107(4):1436-49.
60. Jang J-H, Moon K-D. Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chemistry*. 2011;124(2):444-9.
61. Pinheiro J, Alegria C, Abreu M, Gonçalves EM, Silva CLM. Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (*Solanum lycopersicum*, cv. ‘Zinac’) during storage. *Journal of Food Engineering*. 2012.
62. Llamas NE, Di Nezio MS, Fernández Band BS. Flow-injection spectrophotometric method with on-line photodegradation for determination of ascorbic acid and total sugars in fruit juices. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2011;24(1):127-30.
63. Silval R, Monteiról V, Alcanforll J, Assisll E, AsquierilV E. Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2003;23(3):337 - 41.

64. Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. Colorimetric Method form Determination of Sugars and Related Substances. *Nature*. 1956;28(3):350 - 6.
65. Vega-Gálvez A, Uribe E, Perez M, Tabilo-Munizaga G, Vergara J, Garcia-Segovia P, et al. Effect of high hydrostatic pressure pretreatment on drying kinetics, antioxidant activity, firmness and microstructure of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel. *LWT - Food Science and Technology*. 2011;44(2):384-91.
66. Hendrickx M, Ludikhuyze L, Van den Broeck I, Weemaes C. Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Science & Technology*. 1998;9(5):197-203.
67. Gomes MRA, Ledward DA. Effect of high-pressure treatment on the activity of some polyphenoloxidases. *Food Chemistry*. 1996;56(1):1-5.
68. Borin I, Frascareli E, Mauro M, Kimura M. Effect of osmotic pre-treatment with sucrose and sodium chloride on convective drying of pumpkin. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2008;8(1):39-50.
69. Jangam S, Law C, Mujumdar A. Drying of foods, Vegetables and Fruits. 2010;1. Singapura.
70. Figueiredo-González M, Cancho-Grande B, Simal-Gándara J. Effects on colour and phenolic composition of sugar concentration processes in dried-on- or dried-off-vine grapes and their aged or not natural sweet wines. *Trends in Food Science & Technology*. 2013;31(1):36 - 54.
71. Skredea G, Martinsena BK, Woldb AB, Birkelandc SE, K A. Variation in quality parameters between and within 14 Nordic tree fruit and berry species *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*. 2012;62(3):193 - 208.
72. Ghanem N, Mihoubi D, Kechaou N, Mihoubi NB. Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*. 2012;40(0):167-77.